



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΦΥΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ - WEBINTELLIGENCE

**Σημασιολογικός Ιστός των Πραγμάτων
Μελέτη και εφαρμογή της οντολογίας Thing Description**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΟΥΚΟΥΡΟΥΖΗΣ

Επιβλέπων : ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΔΑΜΙΔΗΣ
Καθηγητής ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2022



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΦΥΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ – WEB
INTELLIGENCE

Σημασιολογικός Ιστός των Πραγμάτων Μελέτη και εφαρμογή της οντολογίας Thing Description

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΟΥΚΟΥΡΟΥΖΗΣ

Επιβλέπων : ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΔΑΜΙΔΗΣ
Καθηγητής ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις Choose a date.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Παναγιώτης Αδαμίδης
Καθηγητής ΔΙ.ΠΑ.Ε.

.....
Όνομα Επώνυμο
Choose an item. ΔΙ.ΠΑ.Ε.

.....
Όνομα Επώνυμο
Choose an item. ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2022

(Υπογραφή)

.....

Νικόλαος Κουκουρούζης

Μηχανικός Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών Α.Τ.Ε.Ι.Η.

© 2022– All rights reserved

Περίληψη

Η χρήση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) εμφανίζεται πλέον στην πλειονότητα των εφαρμογών. Αυτό δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την τυποποίηση, τη διαλειτουργικότητα και την περιγραφή των πόρων IoT και των αντίστοιχων δεδομένων τους. Οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web - SW) προσεγγίζουν κατάλληλα τις παραπάνω προκλήσεις και ορίζουν ένα πλαίσιο αποτελεσματικής επίλυσης σημαντικών σχετικών ζητημάτων. Η συνέργεια μεταξύ των τομέων SW και IoT οδηγεί στον Σημασιολογικό Ιστό των Πραγμάτων (Semantic Web of Things - SWoT). Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά μια θεωρητική προσέγγιση του SWoT και την οντολογία Thing Description. Επιπλέον, η εργασία συμπεριλαμβάνει την ανάπτυξη μια νέας οντολογίας η οποία εξειδικεύεται στην περιγραφή ενός συστήματος φωτισμού το οποίο αποτελείται από διαφορετικά είδη λαμπτήρων. Προτείνεται η οντολογία WEBIOT η οποία αποτελεί επέκταση της οντολογίας Thing Description και παρουσιάζεται μια Web εφαρμογή που υλοποιεί την προσομοίωση χρήσης της. Η προτεινόμενη εφαρμογή υποστηρίζει λειτουργία Plug & Play για την αυτόματη σύνδεση και αναγνώριση αντικειμένων που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες υλικού ή/και λογισμικού, για τη λήψη των δεδομένων ή την αλληλεπίδραση με αυτά. Η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να λειτουργήσει ως ένας οδηγός για την δημιουργία νέων εφαρμογών του SWoT με βάση την οντολογία Thing Description.

Λέξεις Κλειδιά: Σημασιολογικός Ιστός, Διαδίκτυο των Πράγματος, Ιστός των Πράγματος, Σημασιολογικός Ιστός των Πράγματος, Οντολογία Thing Description.

Abstract

The use of Internet of Things (IoT) technologies is now emerging in most applications. This creates significant challenges related to standardization, interoperability and description of IoT resources and their respective data. Semantic Web Technologies (SW) address appropriately the above challenges and set a framework for effective resolution of important related issues. The synergy between the SW and IoT domains leads to the Semantic Web of Things (SWoT). This thesis deals with a theoretical approach to SWoT and the Thing Description ontology. Furthermore, the thesis includes the development of a new ontology that describes a lighting system composed of different types of lamps. The WEBIOT ontology is proposed, which is an extension of the Thing Description ontology and a Web application is developed that simulates the use of the ontology. The developed application supports a Plug & Play functionality for the automatic connection and identification of objects based on different hardware or software technologies, for receiving or interacting with the data. This thesis can also serve as a guide for the creation of new SWoT applications based on the Thing Description ontology.

Keywords: Semantic Web, Internet of Things, Web of Things, Semantic Web of Things, Thing Description Ontology.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	6
1.1	Από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) στον Σημασιολογικό Ιστό των Πραγμάτων (SWoT)	6
1.2	Σημασιολογικός Ιστός και Διαδίκτυο των Πραγμάτων	7
1.2.1	Συνεισφορά	7
	Οργάνωση κειμένου.....	8
2	Σχετικές Εργασίες	9
2.1	Οι οντολογίες SSN και SOSA	9
2.2	oneM2M Base Ontology	11
2.3	SAREF	12
3	Σημασιολογικός Ιστός	15
3.1	Η Αρχιτεκτονική του Σημασιολογικού Ιστού	17
3.2	Τομείς Εφαρμογής του Σημασιολογικού Ιστού	20
4	Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)	24
4.1	Αρχιτεκτονική	25
4.2	Προκλήσεις	27
5	Ιστός των Πραγμάτων (WoT)	29
5.1	Αρχιτεκτονική	29
5.2	WoT Thing Description (TD)	31
5.3	Προκλήσεις	33
6	Ο Σημασιολογικός Ιστός των Πραγμάτων (SWoT)	35
6.1	Προκλήσεις	38
7	Thing Description	40
7.1	Το Μοντέλο Thing Description	40
7.2	Thing Description Ontology	43
7.2.1	Κλάσεις (Classes).....	44
7.2.2	Ιδιότητες Αντικειμένων (Object Properties).....	45
7.2.3	Ιδιότητες Δεδομένων (Data Properties).....	46
8	Εφαρμογή της Οντολογίας Thing Description	48

8.1	Οντολογία WEBIOT	48
8.1.1	<i>Lamp</i>	49
8.1.2	<i>Ιδιότητες Δεδομένων (Data Properties)</i>	49
8.1.3	<i>Στιγμιότυπα (instances)</i>	49
8.2	Σενάρια χρήσης της οντολογίας WEBIOT	52
8.2.1	<i>Σενάριο χρήσης 1</i>	52
8.2.2	<i>Σενάριο χρήσης 2</i>	53
8.2.3	<i>Σενάριο χρήσης 3</i>	54
8.2.4	<i>Σενάριο χρήσης 4</i>	55
8.2.5	<i>Σενάριο χρήσης 5</i>	55
9	Web εφαρμογή.....	57
9.1	Λειτουργικές απαιτήσεις.....	57
9.2	Τεχνικές λεπτομέρειες	58
9.3	Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία	58
9.3.1	<i>Protégé</i>	58
9.3.2	<i>Easy RDF</i>	59
9.3.3	<i>Virtuoso (Openlink) Universal Server</i>	59
9.3.4	<i>HTML 5</i>	60
9.3.5	<i>CSS</i>	60
9.3.6	<i>Bootstrap</i>	61
9.3.7	<i>PHP</i>	61
9.4	Παρουσίαση της Web Εφαρμογής.....	61
10	Επίλογος.....	67
10.1	Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	67
10.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	68
11	Βιβλιογραφία	69

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1. Οντολογία SSN και τα εννοιολογικά μοντέλα της μαζί με το υποσύνολο της SOSA [37].	10
Εικόνα 2.2. Οντολογία OneM2M και τα εννοιολογικά της μοντέλα [36].	11
Εικόνα 2.3. Οντολογία SAREF και τα εννοιολογικά της μοντέλα [42].	13
Εικόνα 3.1. Ιεραρχία της στοίβας του Σημασιολογικού Ιστού [5].	18
Εικόνα 3.2. Τριπλέτα RDF [17].	19
Εικόνα 3.3. Τομείς που σχετίζονται με τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού [5].	21
Εικόνα 4.1. Οι συνηθέστερες αρχιτεκτονικές του IoT [8].	26
Εικόνα 5.1. Αρχιτεκτονική του WoT [15].	30
Εικόνα 5.2. Λειτουργικά δομικά στοιχεία του WoT.	31
Εικόνα 6.1. Εξέλιξη του IoT στο SWoT [24].	36
Εικόνα 7.1. TD core vocabulary [22].	41
Εικόνα 7.2. Data schema vocabulary [22].	41
Εικόνα 7.3. WoT security vocabulary [22].	42
Εικόνα 7.4. Hypermedia controls vocabulary [22].	42
Εικόνα 7.5. Ιεραρχία κλάσεων της οντολογίας Things Description.	43
Εικόνα 8.1. Στιγμιότυπα της οντολογίας WEBIOT ανά κλάση.	51
Εικόνα 8.2. SPARQL endpoint.	52
Εικόνα 9.1. Web Εφαρμογή.	62
Εικόνα 9.2. Αναζήτηση για συσκευές IoT.	63
Εικόνα 9.3. Στιγμιότυπο Color Lamp.	64
Εικόνα 9.4. Στιγμιότυπο On Off Lamp.	64
Εικόνα 9.5. Στιγμιότυπο Dimable Lamp.	65
Εικόνα 9.6. Στιγμιότυπο Toggle Lamp.	65

Συντομογραφίες

SW	Semantic Web -
IoT	Internet of Things
WoT	Web of Things
SWoT	Semantic Web of Things
TD	Thing Description
SSN	Semantic Sensor Network
SOSA	Sensor, Observation, Sample, and Actuator
M2M	Machine to Machine
SAREF	Smart Appliances REference
EE	European Commission
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
OWL	Web Ontology Language
RDF	Resource Description Framework
URI	Uniform Resource Identifier
W3C	Κοινοπραξία Παγκόσμιου Ιστού
HTML	Hyper-Text Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
SWRL	Semantic Web Rule Language

1

Εισαγωγή

1.1 Από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) στον

Σημασιολογικό Ιστό των Πραγμάτων (SWoT)

Η χρήση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) εμφανίζεται πλέον στην πλειονότητα των εφαρμογών διότι υπάρχει η ανάγκη διασύνδεσης ετερογενών δικτύων επικοινωνίας καθώς και τεράστια ποσότητα δεδομένων που συλλέγονται από ετερογενείς μεταξύ τους συσκευές οι οποίες μεταφέρονται με διαφορετικές μορφές κωδικοποίησης. Αυτό δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την τυποποίηση, τη διαλειτουργικότητα και την περιγραφή των πόρων στο IoT και των αντίστοιχων δεδομένων τους. Οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού φαίνεται να προσεγγίζουν κατάλληλα τις παραπάνω προκλήσεις αλλά και να ορίζουν ένα πλαίσιο αποτελεσματικής επίλυσης σημαντικών σχετικών ζητημάτων.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η εφαρμογή σημασιολογικών τεχνολογιών στο IoT προάγει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των πόρων, των μοντέλων που παράγουν πληροφορία, των παρόχων δεδομένων και των καταναλωτών. Διευκολύνει επίσης την αποτελεσματική πρόσβαση και ενσωμάτωση των δεδομένων, την ανακάλυψη των πόρων, τη σημασιολογική συλλογιστική και τελικά την εξαγωγή γνώσης. Η συνέργεια μεταξύ των τομέων SW και IoT οδηγεί σε νέες λύσεις και καταγράφεται ως ο Σημασιολογικός Ιστός των Πραγμάτων (Semantic Web of Things - SWoT) [11].

Ενώ ο Ιστός των Πράγματων (Web of Things - WoT) βελτιώνει τη συνδεσιμότητα και την προσβασιμότητα του IoT, οι οντολογίες που βασίζονται σε τεχνολογίες σημασιολογικού Ιστού παρέχουν προδιαγραφές κατανοητές από μηχανή και αναγνώσιμες από τον άνθρωπο, οι οποίες υιοθετούνται σε μεγάλο βαθμό στη βιομηχανία για σκοπούς διαλειτουργικότητας και σύμπραξης. Έτσι, μέσω του σημασιολογικού Ιστού και του WoT, το IoT εξελίσσεται ώστε να

είναι σημασιολογικά διαλειτουργικό και υπερσυνδεδεμένο σε ανοιχτά και συνδεδεμένα περιβάλλοντα, ειδικά με τη χρήση συγκεκριμένων URIs αντί για αυθαίρετα αναγνωριστικά και με την παροχή διασύνδεσης μεταξύ των πόρων (όπως συσκευές, φυσικές οντότητες) και των καταστάσεων και χαρακτηριστικών τους [3]. Ο τομέας του Σημασιολογικού Ιστού έχει ως στόχο να επιτρέψει την απρόσκοπτη ανταλλαγή, επαναχρησιμοποίηση και συνδυασμό των διαθέσιμων πληροφοριών στον Παγκόσμιο Ιστό από τους πράκτορες λογισμικού. Κάθε διαθέσιμος πόρος στο σημασιολογικό ενεργοποιημένο Web θα πρέπει να σχολιάζεται, χρησιμοποιώντας RDF και OWL οντολογίες. Τόσο το RDF όσο και η OWL ορίζονται μέσω ενός XML Schema.

1.2 Σημασιολογικός Ιστός και Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι αφενός μια θεωρητική προσέγγιση του SWoT και αφετέρου η μελέτη και η εφαρμογή της οντολογίας Thing Description. Η οντολογία Thing Description προσχέδιο προς το παρόν της κοινοπραξίας W3C, κάνει χρήση του προτύπου αναπαράστασης RDF με αξιώματα και του TD Information Model, το οποίο χρησιμοποιεί προκαθορισμένα λεξιλόγια και σημασιολογία.

Η μελέτη περιγράφει μία εμπειριστατωμένη ανάλυση της οντολογίας και συμπεριλαμβάνει χρήση εργαλείων οπτικοποίησης. Η εφαρμογή αφορά στη δημιουργία σεναρίων χρήσης και χρήση ερωτημάτων SPARQL για την ανάκτηση πληροφοριών. Επιπλέον, η εφαρμογή υποστηρίζει λειτουργία Plug & Play για την αυτόματη σύνδεση και αναγνώριση αντικειμένων που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες υλικού ή/και λογισμικού, για τη λήψη των δεδομένων ή την αλληλεπίδραση με αυτά.

1.2.1 Συνεισφορά

Το IoT συνδέει συσκευές, εγκαταστάσεις και δίκτυα με προηγμένους αισθητήρες, ελεγκτές και εφαρμογές λογισμικού. Σε συνδυασμό με τη δύναμη της ανάλυσης, της τεχνητής συλλογιστικής, της αυτοματοποίησης και της εμπειρογνωμοσύνης σε βάθος στον τομέα, έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη βελτίωση των επιδόσεων σε όλους της τομείς της παγκόσμιας βιομηχανίας. Ωστόσο, το όραμα του IoT τίθεται σήμερα υπό αμφισβήτηση από μια σειρά ζητημάτων, λίγα από τα οποία συνδέονται με τα στεγανά δεδομένων, τη διαλειτουργικότητα των μηχανών, την αυτοματοποιημένη ανακάλυψη πόρων, τη σαφή ερμηνεία των δεδομένων του διαδικτύου των πραγμάτων, την ομαλή μηχανική και συντήρηση των συστημάτων του διαδικτύου των πραγμάτων και πολλά άλλα. Απ' την άλλη η εφαρμογή σημασιολογικών τεχνολογιών στο IoT προωθεί τη διαλειτουργικότητα μεταξύ πόρων, μοντέλων παραγωγής πληροφοριών, παρόχων δεδομένων και καταναλωτών. Επιπλέον διευκολύνει την

αποτελεσματική πρόσβαση και ενσωμάτωση δεδομένων, την ανακάλυψη πόρων, τη σημασιολογική συλλογιστική και τελικά την εξαγωγή γνώσης.

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να ορίσει αφενός την θεωρητική προσέγγιση του SWoT και αφετέρου η μελέτη και εφαρμογή της οντολογίας Thing Description.

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:

1. Περιγραφή της οντολογίας Thing Description.
2. Υλοποίηση της οντολογίας WEBIOT η οποία αποτελεί επέκταση της Thing Description και εξειδικεύεται στην περιγραφή και χρήση διαφόρων ειδών λαμπτήρων.
3. Δίνονται αναλυτικές οδηγίες για την επέκταση της οντολογίας WEBIOT.
4. Υλοποίηση σεναρίων χρήσης της οντολογίας WEBIOT.
5. Υλοποίηση σειράς ερωτημάτων SPARQL για την ανάκτηση πληροφοριών με βάση τα σενάρια χρήσης.
6. Υλοποίηση διαδικτυακής εφαρμογής η οποία με τη χρήση της οντολογίας WEBIOT, κάνει ανάκτηση πληροφοριών μέσω ερωτημάτων SPARQL και προσομοιώνει την χρήση διάφορων ειδών λαμπτήρων.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να λειτουργήσουν ως ένας οδηγός για την δημιουργία νέων εφαρμογών του SWoT με βάση την οντολογία Thing Description.

Οργάνωση κειμένου

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται σχετικές εργασίες. Ο Σημασιολογικός ιστός παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3. Το Κεφάλαιο 4 αναφέρεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το Κεφάλαιο 5 αναφέρεται στον Ιστό των Πραγμάτων ενώ στο Κεφάλαιο 6 στον Σημασιολογικό Ιστό των Πραγμάτων (SWoT). Στο κεφάλαιο 7 μελετάται το Thing Description Information Model και η οντολογία Thing Description. Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται η εφαρμογή της οντολογίας Thing Description, η ανάπτυξη της οντολογίας WEBIOT και η δημιουργία σεναρίων χρήσης της οντολογίας. Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο 9, γίνεται αναφορά στις τεχνικές λεπτομέρειες και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής που συνοδεύει την παρούσα εργασία και κάνει χρήση της οντολογίας WEBIOT. Στο κεφάλαιο 10, παρουσιάζονται κάποια συμπεράσματα καθώς και προτάσεις βελτίωσης και επέκτασής της.

2

Σχετικές Εργασίες

Στην συνέχεια παρουσιάζονται μερικές οντολογίες που υλοποιήθηκαν για να περιγράψουν με σημασιολογικό τρόπο εφαρμογές του IoT. Για να παρέχεται μια διεξοδική ανάλυση των οντολογιών, για κάθε οντολογία παρουσιάζεται η δομή της και τα εννοιολογικά της μοντέλα.

2.1 Οι οντολογίες SSN και SOSA

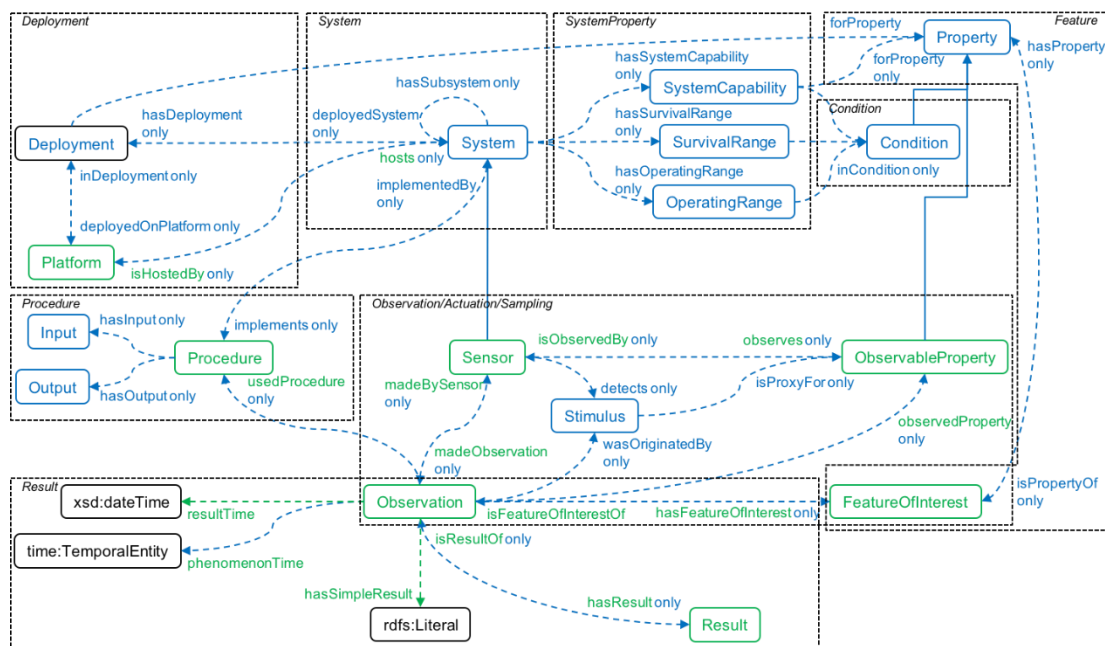
Οι οντολογίες SSN (Semantic Sensor Network) και SOSA (Sensor, Observation, Sample, and Actuator) είναι ένα σύνολο οντολογιών που περιγράφουν αισθητήρες, ενεργοποιητές, δειγματολήπτες καθώς και τις παρατηρήσεις, ενεργοποιήσεις και τις δειγματοληψίες τους, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί τόσο ως σύσταση της κοινοπραξίας W3C όσο και ως πρότυπο της OGC. Το σύνολο της οντολογίας υιοθετεί μια σπονδυλωτή αρχιτεκτονική με τη SOSA ως αυτοτελή πυρήνα και με την SSN ως προέκταση, για την υποστήριξη μιας σειράς λειτουργιών που βασίζονται στην ανίχνευση και την ενεργοποίηση, όπως η επιστημονική παρακολούθηση, οι βιομηχανικές υποδομές και το διαδίκτυο των πραγμάτων.

Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η δομή της οντολογίας SSN, η οποία περιλαμβάνει την οντολογία SOSA, δίνοντας έμφαση στα κοινά πρότυπα που χρησιμοποιούνται από τρεις δραστηριότητες (δηλαδή ενεργοποίηση, δειγματοληψία και παρατήρηση) με κλάσεις που εμφανίζονται με σε διαφορετικά χρώματα [38]. Οι κλάσεις και οι σχέσεις που ορίζονται στην οντολογία SSN εμφανίζονται με πράσινο και μπλε, ενώ η οντολογία SOSA εμφανίζεται με πράσινο.

Σε γενικές γραμμές, οι οντολογίες αναγνωρίζουν τους Sensors (αισθητήρες) που διατυπώνουν Observations (παρατηρήσεις) σχετικά με ορισμένες ObservableProperty (ιδιότητες που παρατηρούνται) ενός FeatureOfInterest (χαρακτηριστικού ενδιαφέροντος), περιλαμβάνουν Samplers (δειγματολήπτες) που πραγματοποιούν δειγματοληψία σε κάποιο χαρακτηριστικό OfInterest για την παραγωγή δείγματος, καθώς και, μοντέλα ενεργοποιητών που κάνουν

ορισμένες ενεργοποιήσεις σε κάποια ActuableProperty ενός FeatureOfInterest (χαρακτηριστικού ενδιαφέροντος). Η οντολογία λαμβάνει επίσης υπόψη, τη χωρική πτυχή μιας παρατήρησης, δειγματοληψίας ή ενεργοποίησης, η οποία μπορεί να συνδεθεί με ένα FeatureOfInterest (χαρακτηριστικού ενδιαφέροντος), ένα Sensor (αισθητήρα), τον Sampler (δειγματολήπτη) ή/και την Platform (πλατφόρμα).

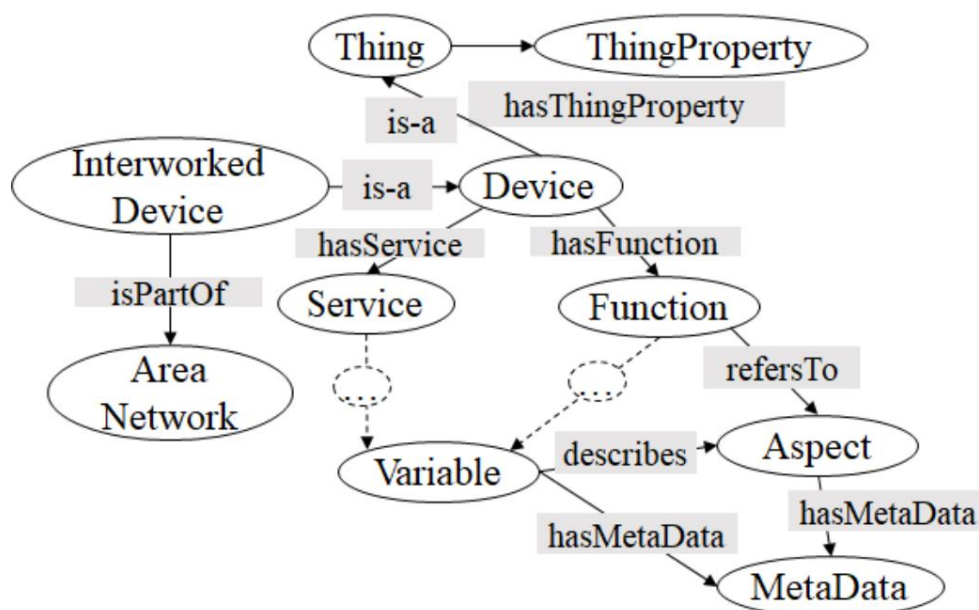
Η στρατηγική ανάπτυξης που υιοθετήθηκε επιτρέπει την κατάτμηση των οντολογιών σε μικρότερα μέρη, παρέχοντας στους χρήστες μόνο τις γνώσεις που χρειάζονται και περιορίζοντας το πεδίο εφαρμογής όσο το δυνατόν περισσότερο σε ό,τι είναι απολύτως αναγκαίο σε μια συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης. Η SSN εισάγει την οντολογία SOSA, προσθέτει πρόσθετα στοιχεία και έννοιες, τα οποία είναι οργανωμένα σε διάφορα άλλα στοιχεία πέραν της βασικής SOSA. Συγκεκριμένα, αυτά τα στοιχεία SSN θεωρούν το FeatureOfInterest (χαρακτηριστικού ενδιαφέροντος), ως το αντικείμενο-στόχο στον φυσικό κόσμο για αλληλεπίδραση και τις κλάσεις Procedures (Διαδικασίες) ως επαναχρησιμοποιήσιμες ροές εργασίας ή μεθόδους. Οι κλάσεις Results (αποτελέσματα) χρησιμοποιούνται για την προσάρτηση ιδιοτήτων στις δραστηριότητες μια συσκευής. Η κλάση System (σύστημα) είναι μια φυσική τεχνολογία υποδομής, ενώ οι SystemCapability (χαρακτηριστικά – δυνατότητες συστήματος) και το Deployment (εγκατάσταση του συστήματος) αντιπροσωπεύουν τον κύκλο ζωής ενός εγκατεστημένου συστήματος.



Εικόνα 2.1. Οντολογία SSN και τα εννοιολογικά μοντέλα της μαζί με το υποσύνολο της SOSA [37].

2.2 oneM2M Base Ontology

Το OneM2M [13] είναι ένα παγκόσμιο ανοικτό πρότυπο για τις επικοινωνίες μηχανής προς μηχανή (M2M) και το διαδίκτυο των πραγμάτων, το οποίο παρέχει ένα κοινό επίπεδο υπηρεσιών μηχανής προς μηχανή με κοινές λειτουργίες εξυπηρέτησης για τη σύνδεση και τη διαλειτουργικότητα συσκευών. Το OneM2M καθορίζει μια βασική οντολογία [5] για την παροχή ελάχιστου αριθμού γενικών εννοιών και την αποτύπωση του διττού χαρακτήρα των φυσικών και των εικονικών πραγμάτων, η οποία χρησιμοποιείται για να μπορούν τα πράγματα και οι λειτουργίες τους να ανακαλυφθούν, να καταχωρηθούν και να καταστούν τηλεχειριζόμενες στο δίκτυο. Οι βασικές έννοιες της οντολογίας βάσης OneM2M απεικονίζονται στην εικόνα 2.2. Λόγω των περιορισμών χώρου, όλα τα αριθμητικά στοιχεία του εγγράφου εισάγουν μόνο τις σημαντικότερες έννοιες στις οντολογίες, ενώ πλήρεις περιγραφές μπορούν να βρεθούν στις αντίστοιχες παραπομπές.



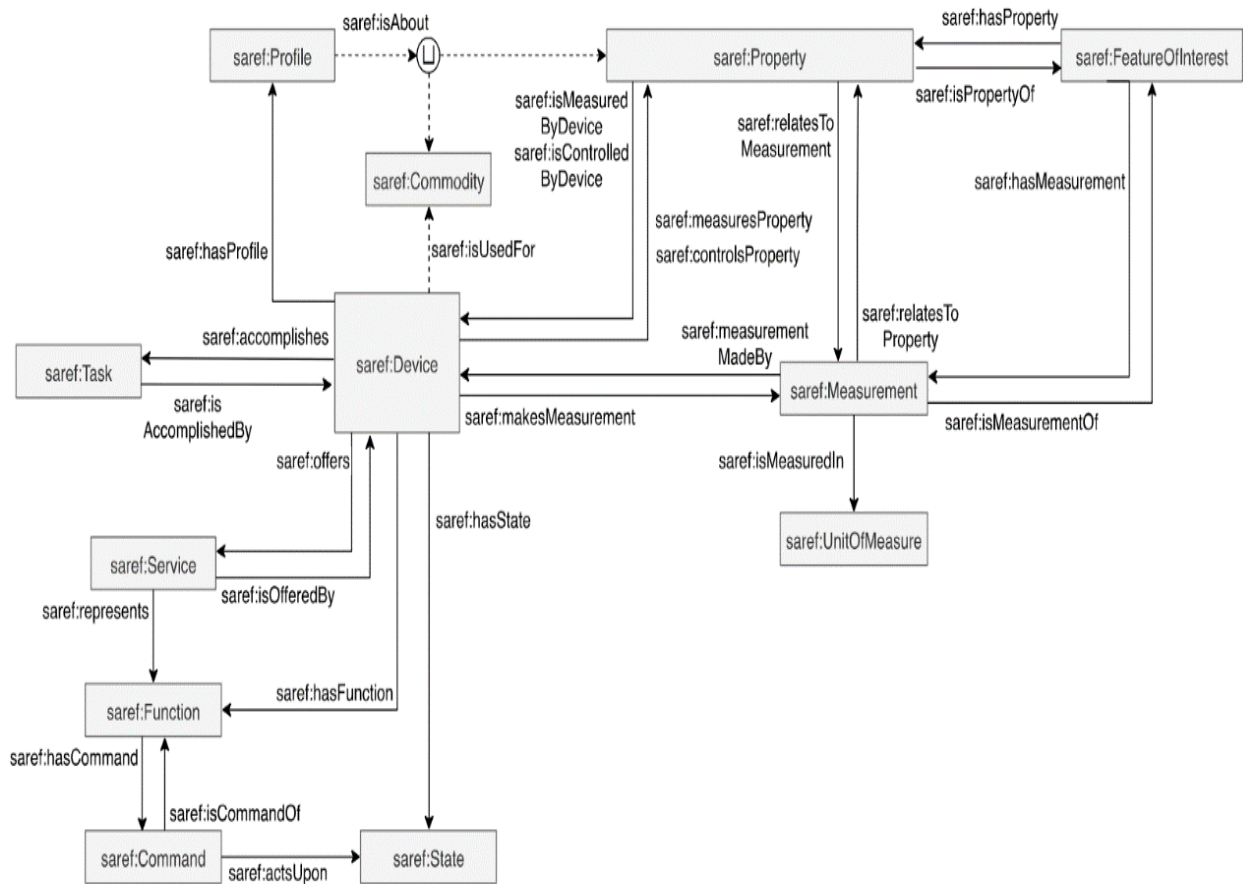
Εικόνα 2.2. Οντολογία OneM2M και τα εννοιολογικά της μοντέλα [36].

Σε αυτή τη οντολογία, ένα πράγμα (Thing) είναι ό,τι μπορεί να προσδιορίσει μια πραγματική οντότητα στο σύστημα της OneM2M. Η κλάση Device περιγράφει μια συσκευή και είναι υποκλάση της Thing, είναι μια οντότητα που αλληλεπιδρά ηλεκτρονικά με το περιβάλλον της, μέσω δικτύου. Ομοίως, μια υπηρεσία (Service) είναι μια ηλεκτρονική αναπαράσταση μιας λειτουργίας (Function) εντός ενός δικτύου. Μια λειτουργία (Function) περιγράφει την έννοια μιας υπηρεσίας (Service) όπως μπορεί να γίνει κατανοητό από τον άνθρωπο, μια υπηρεσία (Service) περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο μια λειτουργία (Function) απεικονίζεται σε ένα

δίκτυο επικοινωνιών, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να ανακαλυφθεί και να προσπελαστεί με ηλεκτρονικά μέσα. Η κλάση ThingProperty δηλώνει μια ιδιότητα ενός πράγματος, η οποία μπορεί να παρατηρηθεί ή να επηρεαστεί από τις διατάξεις, ή συνιστά στατικά δεδομένα για ένα πράγμα. Η κλάση ThingProperty περιγράφει, επίσης, μια συγκεκριμένη όψη (Aspect) με μετα-δεδομένα (MetaData). Για παράδειγμα, η «θερμοκρασία εσωτερικού χώρου» περιγράφει την όψη «θερμοκρασία» που μετράται από αισθητήρα θερμοκρασίας σε μονάδες Κελσίου. Το Aspect είναι το γνώρισμα σε πραγματικές συνθήκες με το οποίο σχετίζεται μια λειτουργία ή η ποιότητα μιας μεταβλητής. Η κλάση Variable περιγράφει οντότητες που αποθηκεύουν δεδομένα που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ορισμένων πραγματικών όψεων με MetaData. Η κλάση InterworkedDevice δεδομένου ότι είναι υπο-κλάση της κλάσης Device (Συσκευή), είναι μέρος του δικτύου AreaNetwork περιοχής που δεν υποστηρίζει διεπαφές OneM2M και μπορεί να είναι προσβάσιμη μόνο μέσω επικοινωνίας μέσω διασυνεργαζόμενης προσεγγιστικής οντότητας. Η οντολογία OneM2M περιλαμβάνει τις βασικές έννοιες του φυσικού επιπέδου, του επιπέδου δεδομένων και του επιπέδου πληροφοριών, ενώ παράλληλα επιδιώκει απλοποιημένες προδιαγραφές με μικρό αριθμό εννοιών και σχέσεων σε αυτό. Τέλος, η οντολογία OneM2M επικεντρώνεται περισσότερο στις εφαρμογές μηχανής προς μηχανή (M2M) απ' ό,τι στις διαδικτυακές εφαρμογές και καθορίζοντας υπηρεσίες και λειτουργίες, καλύπτει το επίπεδο προσβασιμότητας.

2.3 SAREF

Η οντολογία SAREF (Smart Appliances REFerence) [42] αναπτύχθηκε και τυποποιήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) σε στενή συνεργασία με το ETSI (European Telecommunications Standards Institute) για την παροχή ενός σπονδυλωτού και ανεξάρτητου ανά τομέα σημασιολογικού επιπέδου για τις έξυπνες συσκευές. Κατά τη διάρκεια των προδιαγραφών, αναλύθηκαν ορισμένες οντολογίες ή ταξινομίες αναφοράς και το SAREF είναι αποτέλεσμα σύγκλισης των σχετικών οντολογιών για τον τομέα του IoT [40]. Οι βασικές έννοιες του SAREF απεικονίζονται στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3. Οντολογία SAREF και τα εννοιολογικά της μοντέλα [42].

Το σημείο εκκίνησης της οντολογίας SAREF είναι η έννοια της συσκευής (Device) που αντιπροσωπεύει υλικά αντικείμενα που έχουν σχεδιαστεί για την εκπλήρωση ενός ή περισσότερων καθηκόντων (Tasks) σε διάφορους τύπους τοποθεσιών και συνδέονται με καταστάσεις (States). Η οντολογία SAREF παρέχει έναν κατάλογο βασικών λειτουργιών (Functions) που μπορούν να συνδυαστούν με πιο σύνθετες λειτουργίες σε μία μόνο συσκευή. Μια υπηρεσία (Service) μπορεί να αντιπροσωπεύει μία ή περισσότερες λειτουργίες που προσφέρονται από συσκευή η οποία επιθυμεί οι λειτουργίες της να μπορούν να εντοπιστούν, να καταχωριστούν και να ελεγχθούν με τηλεχειρισμό από άλλες συσκευές του δικτύου. Μια υπηρεσία (Service) προσδιορίζει, επίσης, τη συσκευή που παρέχει την υπηρεσία, τις λειτουργίες που πρέπει να αντιπροσωπεύονται και τις παραμέτρους εισόδου και εξόδου που απαιτούνται για τη λειτουργία της υπηρεσίας. Επιπλέον, μια συσκευή στην οντολογία SAREF μπορεί να χαρακτηρίζεται από ένα προφίλ (Profile) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με μια συγκεκριμένη ιδιότητα ή αντικείμενο για τη βελτιστοποίηση της χρήσης της στο σπίτι/κτίριο στο οποίο βρίσκεται η συσκευή. Μαζί με τη μέτρηση (Measurement), την ιδιότητα (Property) και τη μονάδα μέτρησης (UnitOfMeasure), η

οντολογία επιτρέπει τη συσχέτιση διαφορετικών μετρήσεων από μια δεδομένη συσκευή για διαφορετικές ιδιότητες που μετρούνται σε διαφορετικές μονάδες. Μολονότι η SAREF είναι οντολογία ανεξάρτητη από τομέα, παρέχει δομικά στοιχεία που επιτρέπουν τον διαχωρισμό και τον ανα-συνδυασμό διαφόρων τμημάτων της οντολογίας ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες. Ως εκ τούτου, η SAREF έχει σχεδιαστεί ως ένα σύνολο απλών βασικών οντολογικών προτύπων, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να υποστηριχτούν για πολλές κάθετες τεχνικές εφαρμογές [41]. Με βάση τα παραπάνω, αναπτύχθηκαν και τυποποιήθηκαν ορισμένες επεκτάσεις για τη διευκόλυνση της διαμόρφωσης και της διαχείρισης ανά τομέα, για παράδειγμα, η SAREF για την ενέργεια, η SAREF για το περιβάλλον και η SAREF για τις έξυπνες πόλεις. Κάθε επέκταση ανά τομέα κληρονομεί και επαναχρησιμοποιεί μέρη βασικών εννοιών της SAREF που αφορούν τον συγκεκριμένο τομέα και προσθέτει νέες έννοιες. Οι επεκτάσεις της SAREF διευκολύνουν την έγκριση και την επέκτασή του από τους ενδιαφερόμενους φορείς της βιομηχανίας, διασφαλίζοντας παράλληλα την εύκολη διατήρηση της ποιότητας, της συνοχής και της επεκτασιμότητας. Η οντολογία SAREF ορίζεται ουσιαστικά ως οντολογία με επίκεντρο τη συσκευή, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων και ενεργοποιητών, η οποία επικεντρώνεται σε λειτουργίες και μετρήσεις που παρέχονται από συσκευές. Τέλος ορισμένες έννοιες της SAREF συνδέονται στενά με τις έννοιες της oneM2M, ενώ υπάρχει επίσης επίσημο πρότυπο χαρτογράφηση μεταξύ SAREF και oneM2M [39].

3

Σημασιολογικός Ιστός

Ο Ιστός ήταν, τις τελευταίες δεκαετίες, ο τόπος όπου η ανάκτηση πληροφοριών πέτυχε τη μέγιστη σημασία της, δεδομένης της πανταχού παρουσίας και του τεράστιου όγκου πληροφοριών. Ωστόσο, η εκθετική ανάπτυξή του έκανε την εργασία ανάκτησης όλο και πιο δύσκολη, βασίζοντας την αποτελεσματικότητά της σε προηγμένους αλλά ιδιότυπους και ίσως κάπως προκατειλημμένους αλγόριθμους κατάταξης των μεγάλων εταιρειών (Google, Microsoft κ.α). Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, προτάθηκε ένας «νέος» ιστός, που ονομάζεται Σημασιολογικός Ιστός. Ο όρος Σημασιολογικός Ιστός – Semantic Web επινοήθηκε από τον Tim Berners-Lee το 2001 και περιγράφει έναν ιστό συνδεδεμένων δεδομένων, σε αντίθεση με τον Ιστό, ο οποίος είναι ένας ιστός συνδεδεμένων εγγράφων που δημιουργείται μέσω της χρήσης κοινών μεταδεδομένων προτύπων. Οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού αφορούν το μέσο για την παροχή μιας μηχανικά αναγνώσιμης δομής δεδομένων και επιπλέον διευκολύνουν την ενσωμάτωση της πληροφορίας από διάφορες πηγές που δημιουργούνται με τη χρήση των ίδιων υποκείμενων τεχνολογιών [2]. Η διαφορά του Σημασιολογικού Ιστού και του Παγκόσμιου Ιστού είναι ότι ο Παγκόσμιος Ιστός ασχολείται με έγγραφα, ενώ ο Σημασιολογικός Ιστός ασχολείται με δεδομένα (Web of Data), με οντότητες (Entities) και τη σχέση μεταξύ τους. Με διαφορετικά λόγια, ο Σημασιολογικός Ιστός περιγράφει μια έννοια που επιτρέπει την καλύτερη μηχανική επεξεργασία των πληροφοριών στο διαδίκτυο, διαρθρώνοντας έγγραφα γραμμένα για το διαδίκτυο με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνονται κατανοητά από τις μηχανές. Το πλαίσιο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πιο σύνθετων εφαρμογών (έξυπνα προγράμματα περιήγησης, πιο προηγμένοι web agents κ.α). Συνεπώς, ο Σημασιολογικός Ιστός παραμένει μια εξελισσόμενη επέκταση του Παγκόσμιου Ιστού στην οποία ορίζεται η σημασιολογία των πληροφοριών και των υπηρεσιών στον ιστό, καθιστώντας δυνατό στον ιστό να κατανοεί και να ικανοποιεί τα αιτήματα ανθρώπων και μηχανών για χρήση του περιεχομένου ιστού [3].

Οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού εφαρμόζονται ευρέως σε πολλούς τομείς όπως η ιατρική, η υγειονομική περίθαλψη, τα χρηματοοικονομικά, η γεωλογία. Οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού είναι μια διαδικασία κωδικοποίησης κατά την οποία το νόημα αποθηκεύεται ξεχωριστά από τα δεδομένα και το περιεχόμενο, το οποίο προσομοιώνει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι κατανοούν τη γλώσσα και επεξεργάζονται τις πληροφορίες. Αυτό επιτρέπει σε ένα σύστημα υπολογιστών να έχει μια ανθρώπινη κατανόηση και συλλογισμό. Με τις τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού, η προσθήκη, η αλλαγή και η εφαρμογή νέων σχέσεων ή η διασύνδεση προγραμμάτων με διαφορετικό τρόπο μπορεί να είναι τόσο απλή όσο η αλλαγή του εξωτερικού μοντέλου που μοιράζονται αυτά τα προγράμματα. Προσεγγίζοντας την αυτόματη κατανόηση των νοημάτων, οι τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού ξεπερνούν τα όρια άλλων τεχνολογιών, όπως η μη-ερμηνεία σε βάθος των νευρωνικών δικτύων και η εξάρτησή τους από μεγάλα δεδομένα εκπαίδευσης. Αξίζει να σημειωθεί πως, αν και η γενική αρχιτεκτονική της τεχνολογίας του Σημασιολογικού Ιστού (Web Layer Cake του Tim Berners-Lee [2]) προτάθηκε πριν από πολλά χρόνια και ήταν γνωστή, εξακολουθεί να στερείται συγκεκριμένης κατευθυντήριας γραμμής για την τυποποίηση της και επί του παρόντος, οι ερευνητές βασίζονται κυρίως στην εμπειρία και τις προτιμήσεις τους για να αναπτύξουν και να αξιολογήσουν ένα έργο τεχνολογίας Σημασιολογικού Ιστού [4].

Με δεδομένο τον τελικό στόχο του Σημασιολογικού Ιστού, που έχει καθοριστεί να παρέχει ικανότητα στον υπολογιστή να κάνει πιο ουσιαστικές εργασίες και να αναπτύσσει συστήματα που μπορούν να υποστηρίξουν αξιόπιστες αλληλεπιδράσεις μέσω του δικτύου, αναπτύσσονται οι τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού, που περιλαμβάνουν διαφορετικές μορφές ανταλλαγής δεδομένων (Turtle, RDF/XML, N3, NTriples), γλώσσες ερωτημάτων (SPARQL, DL query), οντολογίες και λεξιλόγια όπως RDF Schema και Web Ontology Language (OWL), όλα εκ των οποίων προορίζονται να παρέχουν μια επίσημη περιγραφή οντοτήτων και αντιστοιχιών εντός του δεδομένου γνωστικού πεδίου. Αυτές οι τεχνολογίες είναι χρήσιμες για την επίτευξη του γενικού στόχου του σημασιολογικού ιστού. Η καρδιά του σημασιολογικού ιστού είναι τα συνδεδεμένα δεδομένα, επειδή αυτά παρέχουν μεγάλης κλίμακας ενοποίηση δεδομένων και συλλογισμό στα δεδομένα. Τα συνδεδεμένα δεδομένα γίνονται ισχυρά από τεχνολογίες όπως η SPARQL, η RDF, OWL και SKOS, παρά τις προκλήσεις που παραμένουν. Οι οντολογίες είναι η ραχοκοκαλιά για τη δόμηση συνδεδεμένων δεδομένων και παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό συνδέσμων μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων και μεταξύ συνόλων δεδομένων με άλλα συνδεδεμένα δεδομένα. Επιτρέπουν στους χρήστες να αναζητήσουν ένα σχηματικό μοντέλο όλων των δεδομένων μέσα στις εφαρμογές. Χρησιμοποιώντας τις οντολογίες μπορεί να συνδυαστεί βαθιά γνώση και ακατέργαστα δεδομένα σε ένα τομέα και να γεφυρωθούν σύνολα δεδομένων με άλλους τομείς. Τέλος, οι οντολογίες μπορούν να επιτελέσουν

ακριβέστερη ταξινόμηση τμημάτων δεδομένων και να επιτρέψουν επικοινωνία μεταξύ των δεδομένων που είναι διαθέσιμα σε διαφορετικές μορφές [5].

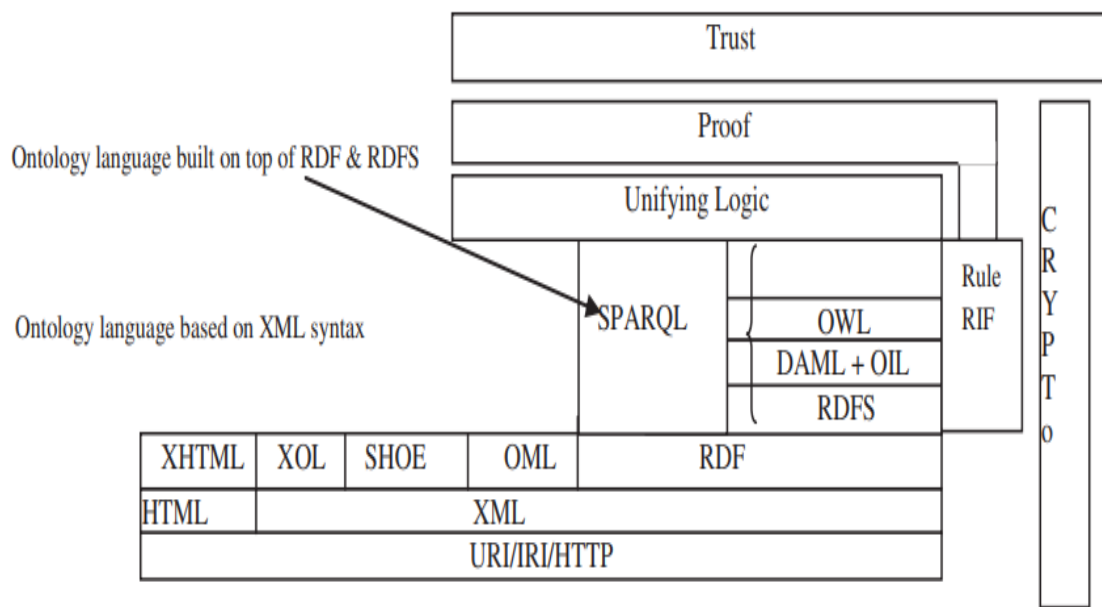
3.1 Η Αρχιτεκτονική του Σημασιολογικού Ιστού

Το μέλλον του διαδικτύου μπορεί να προβληθεί ως δομημένο σημασιολογικό διαδίκτυο αντί για μη δομημένες πληροφορίες που διατίθενται σήμερα στο διαδίκτυο. Για να εμφανιστούν οι πληροφορίες που είναι περιορισμένες και όχι μια τεράστια συλλογή πληροφοριών, απαιτείται η επίδειξη πληροφοριών με βάση το νόημα. Καθώς οι μηχανές δεν «κατανοούν» τι σημαίνουν τα δεδομένα, απλώς εκτελούν το σύνολο των εντολών που έχουν εγγραφεί σε ένα πρόγραμμα. Για να καταστεί το περιεχόμενο κατανοητό από μηχανήματα, είναι αναγκαίο να σχεδιαστεί ένα τυποποιημένο μοντέλο που να εξηγεί την έννοια των όρων και των ιδιοτήτων των οντοτήτων καθώς και τη σχέση τους με άλλες οντότητες ενός συγκεκριμένου τομέα. Το τυποποιημένο αυτό μοντέλο περιγράφει την αρχιτεκτονική του Σημασιολογικού Ιστού [18].

Ο σημασιολογικός ιστός παρέχει μια τυποποιημένη δομή για την αναπαράσταση και την αιτιολόγηση των δεδομένων. Τα δεδομένα αποθηκεύονται με τη μορφή οντολογιών που παρέχουν ισχύ συναγωγής επί των αποθηκευμένων δεδομένων. Σήμερα, το διαδίκτυο χρησιμοποιείται για τρεις σημαντικούς λόγους, την αναζήτηση, τον συνδυασμό δεδομένων και την εξόρυξη δεδομένων. Η αποτελεσματικότητα των παραπάνω εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποθήκευση και την εκπροσώπηση της δομής της γνώσης. Ως εκ τούτου, έχουν αναπτυχθεί διάφορα προγράμματα εκπροσώπησης γνώσεων και γλώσσες που καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις στον τομέα. Η τεχνολογία σημασιολογικού ιστού δημιούργησε τα μεταδεδομένα για να ενσωματώσει και να συνδυάσει δεδομένα που εξάγονται από διαφορετικές πηγές και τα συσχετίζει με αντικείμενα πραγματικού κόσμου. Ο Σημασιολογικός Ιστός εμφανίστηκε ως η τυπική υποδομή για την ενσωμάτωση πληροφοριών που ήταν διαθέσιμες σε διαφορετική μορφή με τη μορφή της έννοιας. Η σημασιολογική αρχιτεκτονική ιστού αναφέρεται επίσης ως “semantic layer cake” από το W3C. Η σημασιολογική αρχιτεκτονική βασίζεται σε URI & XML, RDF, RDFS, OWL (web οντολογική γλώσσα) και είναι κατά την W3C συνιστώμενες γλώσσες αναπαράστασης γνώσης για την αναπαράσταση δεδομένων και μεταδεδομένων του σημασιολογικού ιστού (Semantic Web, 2007). Οι δημιουργοί περιεχομένου ταξινομούν τα μεταδεδομένα ως RDF που έχουν συνδεθεί με άλλη οντότητα με ετικέτα χρησιμοποιώντας σχολιασμό για να φέρει αυτοματοποίηση μηχανών [18].

Στην εικόνα 3.1 φαίνεται ότι η OWL είναι η πλέον δημοφιλής γλώσσα αναπαράστασης του σημασιολογικού ιστού, η οποία βασίζεται στο RDF/XML. Η οντολογία, το RDF, η OWL και η SPARQL είναι τα βασικά συστατικά του σημασιολογικού ιστού. Έχουν την ικανότητα να κωδικοποιούν τη σημασιολογία και να παρέχουν αυτόματη συλλογιστική, συγχώνευση και ανταλλαγή πληροφοριών από διάφορες πηγές αλλά και τη διαχείρισή τους. Δεδομένα μεγάλης

κλίμακας δημοσιεύονται στον Σημασιολογικό ιστό, πράγμα που απαιτεί προηγμένη ανάλυση. Ο Σημασιολογικός Ιστός συλλέγει και αναπαριστά διαδικτυακά έγγραφα με δομημένο τρόπο, παρέχει αποτελεσματική αιτιολόγηση και παράγει ουσιαστικά αποτελέσματα. Με αυτό το σκεπτικό, οι οντολογίες που περιγράφουν τις πραγματικές οντότητες διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην υλοποίηση του σημασιολογικού ιστού [5].



Εικόνα 3.1. Ιεραρχία της στοίβας του Σημασιολογικού Ιστού [5]

3.1.1.1 XML / XML Schema

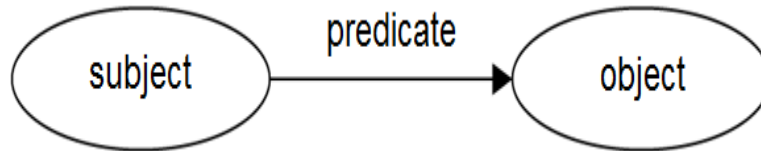
Η XML καθορίζει ένα σύνολο κανόνων για την ανταλλαγή δεδομένων μέσω του διαδικτύου. Παρέχει σύνταξη για την εισαγωγή ετικετών σήμανσης σε κείμενο. Βοηθά στην προσθήκη μεταδεδομένων σε ένα έγγραφο. Επιπλέον, η XML Schema είναι μια γλώσσα για τον καθορισμό της δομής και του περιεχομένου των εγγράφων XML.

3.1.1.2 RDF (The Resource Description Framework)

Η RDF είναι ένα μοντέλο δεδομένων που εξηγεί την εννοιολογική περιγραφή των πόρων ιστού. Η RDF αποθηκεύει πληροφορίες με τη μορφή τριπλετών, έτσι ώστε οι πληροφορίες να είναι μηχανικά κατανοητές. Η RDF παρέχει τη δυνατότητα αναφοράς πόρων με τη δημιουργία δηλώσεων.

Τα δεδομένα RDF μπορούν να προβληθούν με τρεις διαφορετικές αναπαραστάσεις: ως γράφοι, τριπλέτες ή ως XML. Η προβολή γράφου είναι η απλούστερη και πιο κατανοητή για τον χρήστη. Η τριπλέτες αξιοποιούνται καλύτερα στα λογισμικά εφαρμογών τα οποία

χρησιμοποιούν τις τριπλέτες ως είσοδο στις λειτουργίες τους. Το υποκείμενο (subject) υποδεικνύει την οντότητα και το κατηγορημα (predicate) υποδεικνύει χαρακτηριστικά ή χαρακτηριστικά του πόρου και υποδεικνύει μια σχέση μεταξύ του υποκειμένου και του αντικειμένου (object). Ουσιαστικά, οι τριάδες χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τη γνώση χρησιμοποιώντας ένα προσανατολισμένο γράφημα. Κάθε άκρη στο γράφημα αντιπροσωπεύει μια σχέση μεταξύ δύο αντικειμένων (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Τριπλέτα RDF [17]

Ένα υποκείμενο (subject) στην RDF σχηματίζεται είτε από ένα URI είτε από έναν κενό κόμβο. Οι πηγές που επισημαίνονται με τη χρήση ενός κενού κόμβου επισημαίνονται ως ανώνυμες πηγές. Πρόκειται για πηγές που δεν είναι αναγνωρίσιμες από την RDF. Τα κατηγορήματα (predicate) στην RDF σχηματίζονται από αναγνωριστικά των πηγών (URIs) που αντιπροσωπεύουν μια σχέση μεταξύ του υποκειμένου (subject) και του αντικειμένου (object). Το αντικείμενο μπορεί να αντιπροσωπεύεται από αναγνωριστικά, κενούς κόμβους ή ως συμβολοσειρές κειμένου. Η RDF μοντελοποιεί τις οντότητες με έναν αυτοπεριγραφικό τρόπο που είναι εύκολο να διαμοιραστεί. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μεταδεδομένων στον σημασιολογικό ιστό είναι η RDF και είναι συμβατή και επεκτάσιμη στο διαδίκτυο. Η XML είναι κατάλληλη για τη μετάδοση δεδομένων RDF μεταξύ υπολογιστών [17].

3.1.1.3 URI

Οι πηγές δεδομένων στις σημασιολογικές διαδικτυακές εφαρμογές αντιπροσωπεύονται από αναγνωριστικά (URI — Uniform Resource Identifier). Ένα URI είναι μια συμβολοσειρά κειμένου με καθορισμένη δομή που χρησιμοποιείται για τον αδιαμφισβήτητο προσδιορισμό των πηγών ιστού. Η αναπαράσταση δεδομένων με τη χρήση αναγνωριστικών είναι ένας απλός τρόπος για να αναφερθούμε σε δεδομένα που βρίσκονται στο διαδίκτυο [17].

3.1.1.4 SPARQL

Η SPARQL είναι μια γλώσσα που επιτρέπει την αναζήτηση RDF γραφημάτων προσδιορίζοντας «πρότυπα - τριπλέτες» με τα οποία συγκρίνουν στοιχεία γραφημάτων. Δεδομένα που ταιριάζουν ή «ικανοποιούν» ένα πρότυπο επιστρέφονται από το ερώτημα. Μια

τριπλέτα πρότυπο περιέχει μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν στοιχεία των τριπλετών αυτών (object, predicate, subject). Για παράδειγμα: `?person <example:age> "21"^^example:age`, προσδιορίζει μια λίστα υποκειμένων που έχουν την ιδιότητα «21» και αντιστοιχεί με την ερώτηση «Ποιος έχει ηλικία 21;» [19].

3.1.1.5 OWL

Η W3C OWL 2 Web Ontology Language (OWL) είναι μια γλώσσα του Σημασιολογικού Ιστού που έχει σχεδιαστεί για να αντιπροσωπεύει πλούσιες και σύνθετες γνώσεις σχετικά με τα πράγματα, τις ομάδες πραγμάτων και τις σχέσεις μεταξύ των πραγμάτων. Η OWL είναι μια γλώσσα που βασίζεται στη λογική, έτσι ώστε η γνώση που εκφράζεται σε OWL να μπορεί να αιτιολογηθεί με προγράμματα υπολογιστών είτε για να επαληθεύσει τη συνέπεια αυτής της γνώσης είτε για να κάνει ρητή την έμμεση γνώση. Τα έγγραφα OWL, γνωστά ως οντολογίες, μπορούν να δημοσιευτούν στον Παγκόσμιο Ιστό και μπορεί να αναφέρονται ή να προέρχονται από άλλες οντολογίες OWL. Η OWL είναι μέρος της τεχνολογίας του Σημασιολογικού Ιστού του W3C, η οποία περιλαμβάνει την RDF και την SPARQL [21].

3.1.1.6 Logic / Λογική, Proof / Απόδειξη, Trust / Εμπιστοσύνη

Για να γίνει ο Σημασιολογικός Ιστός αρκετά εκφραστικός ώστε να βοηθήσει σε ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μια ισχυρή λογική γλώσσα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Μόλις αρχίσουν να χτίζονται συστήματα που ακολουθούν τη λογική, είναι λογικό να τα χρησιμοποιηθούν για την απόδειξη των πραγμάτων. Οι άνθρωποι σε όλο τον κόσμο θα μπορούσαν να γράψουν λογικές δηλώσεις. Στη συνέχεια, το μηχάνημά θα μπορούσε να ακολουθήσει αυτούς τους σημασιολογικούς «συνδέσμους» για να κατασκευάσει αποδείξεις. Η πιστοποίηση του συντάκτη άρα και η εμπιστοσύνη στον Σημασιολογικό Ιστό πραγματοποιείται με τη χρήση της ψηφιακής υπογραφής [20].

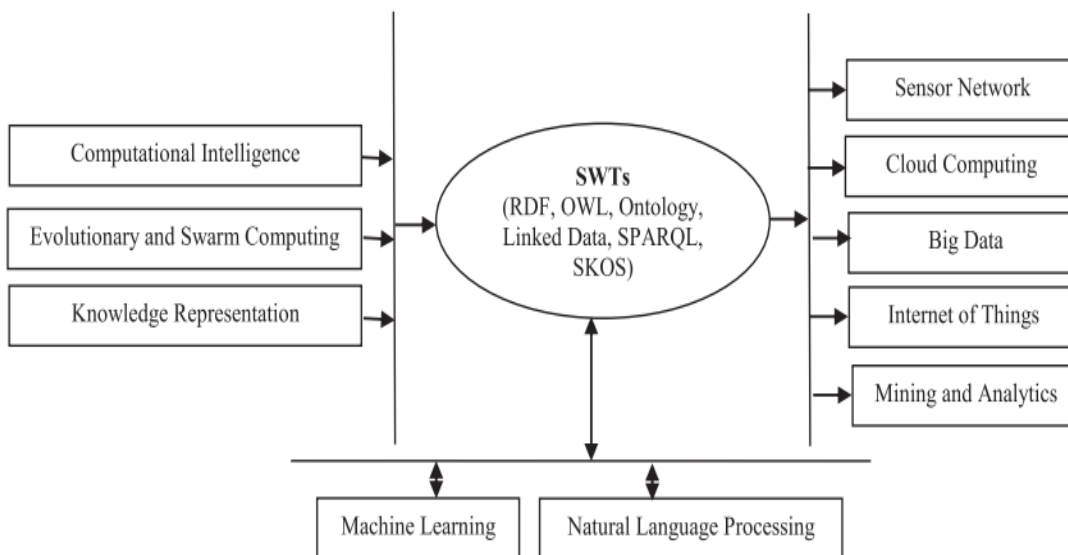
3.1.1.7 Linked Data / Συνδεδεμένα δεδομένα

Στόχος του Σημασιολογικού Ιστού δεν είναι μόνο η εισαγωγή δεδομένων στο διαδίκτυο, αλλά και η δημιουργία συνδεδεμένων δεδομένων, ώστε οι μηχανές να μπορούν να εξερευνήσουν το διαδίκτυο και να βοηθήσουν στην αναζήτηση άλλων συναφών δεδομένων.

3.2 Τομείς Εφαρμογής του Σημασιολογικού Ιστού

Οι τεχνολογίες του σημασιολογικού Ιστού περιλαμβάνουν πολλούς τομείς της επιστήμης των υπολογιστών και έχουν επιλύσει πολλά ζητήματα σχετικά με την αναπαράσταση και την εξαγωγή πληροφοριών. Στην εικόνα 3.3 απεικονίζονται οι πιο στενά συνδεδεμένοι τομείς στους οποίους εντάσσονται οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού. Τα εισερχόμενα βέλη

προς τις τεχνολογίες δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο ο τομέας αυτός ενισχύει την ανάπτυξη του σημασιολογικού ιστού, τα εξερχόμενα βέλη δείχνουν τη χρήση των τεχνολογιών σε κάθε συγκεκριμένο τομέα και τα βέλη αμφίδρομης ροής δείχνουν ότι συγκεκριμένοι τομείς συμβαδίζουν με τις τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού.



Εικόνα 3.3. Τομείς που σχετίζονται με τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού [5]

3.2.1.1 Sensor Networks

Τα δίκτυα αισθητήρων (Sensor networks) χρησιμοποιούνται για την καταγραφή φυσικών γεγονότων και την παρατήρηση των χαρακτηριστικών φυσικών αντικειμένων όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η πίεση κ.α. Ένα δίκτυο αισθητήρων παράγει τεράστιο όγκο δεδομένων που απαιτούν βελτιωμένη λογική επεξεργασία και ερμηνεία από μηχανές. Σε πραγματικές εφαρμογές, τα δεδομένα αισθητήρων είναι ένας συνδυασμός ανόμοιων δεδομένων που προέρχονται από διάφορα δίκτυα. Η υπάρχουσα μορφή ανταλλαγής δεδομένων για δίκτυα αισθητήρων εξαρτάται από συντακτικά μοντέλα που δεν δίνουν νοήματα κατανοητά από μηχανής στα δεδομένα. Οι σημασιολογικές τεχνολογίες παρέχουν μια επιπλέον διαλειτουργική δομή για δεδομένα αισθητήρων και δίνουν τη δυνατότητα στις μηχανές να επεξεργάζονται και να ερμηνεύουν την αναδυόμενη σημασιολογία για να αναπτύξουν πιο έξυπνα δίκτυα αισθητήρων.

3.2.1.2 Cloud Computing

Το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) είναι μια εκτεταμένη μορφή διαδικτυακής υπολογιστικής που παρέχει κοινούς πόρους επεξεργασίας υπολογιστών και δεδομένων σε υπολογιστές και άλλες συσκευές κατά παραγγελία. Ένα δύσκολο ζήτημα που προκύπτει είναι

η διαλειτουργικότητα των υπηρεσιών μέσω του υπολογιστικού νέφους. Μπορούν να εξαλειφθούν τα προβλήματα διαλειτουργικότητας αποθηκεύοντας τις πληροφορίες της περιγραφής των πόρων και των υπηρεσιών του σε οντολογίες. Οι οντολογίες υπολογιστικού νέφους χρησιμοποιούνται κυρίως για την επιλογή και την ανακάλυψη της βέλτιστης υπηρεσίας σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών και την περιγραφή των πόρων των υπηρεσιών του υπολογιστικού νέφους.

3.2.1.3 *Big data*

Τα «μαζικά δεδομένα» (big data) είναι ένας όρος που έχει χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει μεγάλο όγκο δεδομένων που έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Προκύπτουν πολλά προβλήματα στην οργάνωση των δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές και σε διαφορετικές μορφοποιήσεις. Αυτό είναι το σημείο στο οποίο παρουσιάζονται οι τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού. Η διεθνής κοινότητα W3C ενθάρρυνε την δημιουργία μιας κοινής κωδικοποίησης δεδομένων για να καταστούν τα δεδομένα στο διαδίκτυο πιο αξιόπιστα και πιο ερμηνεύσιμα.

3.2.1.4 *Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)*

Η τεχνολογία του IoT ουσιαστικά απαιτεί μια σημασιολογική ραχοκοκαλιά ώστε να ευδοκιμήσει. Η διαλειτουργικότητα, μεταξύ άλλων, στο διαδίκτυο των πραγμάτων «είναι μία από τις πλέον βασικές απαιτήσεις για την υποστήριξη της ανακάλυψης, της αντιμετώπισης και της παρακολούθησης αντικειμένων πέραν της αποθήκευσης πληροφοριών, της ασφάλειας, της εκπροσώπησης και της ανταλλαγής». Το IoT περιλαμβάνει ουσιαστικά διαφορετικά σύνολα συσκευών και διαφορετικές στρατηγικές επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Αυτό το είδος ανομοιογενούς συστήματος θα πρέπει να εξελιχθεί σε ένα πρόσθετο οργανωμένο σύνολο λύσεων, όπου τα «πράγματα» γίνονται συνεχώς «ανακαλύψιμα», εξουσιοδοτούνται να επικοινωνούν με διάφορες οντότητες και συμπεριλαμβάνονται σε μεγάλο βαθμό στις υποδομές και τις υπηρεσίες του διαδικτύου, αντί του ιδιαίτερου τρόπου με τον οποίο συνδέονται με το διαδίκτυο των πραγμάτων. Η δυναμική, η πολυμορφία, τα δίκτυα, τα δεδομένα και η ανομοιογένεια των συσκευών αποτελούν βασικά ζητήματα των τεχνολογιών του διαδικτύου των πραγμάτων. Οι τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού έχουν αποδειχθεί εποικοδομητικές σε διάφορους τομείς όσον αφορά την αντιμετώπιση του ζητήματος της ετερογένειας i) στη διασύνδεση των εν λόγω δεδομένων ii) στη συναγωγή νέων γνώσεων για την ανάπτυξη έξυπνων εφαρμογών iii) στην παροχή διαλειτουργικότητας στη διαχείριση δεδομένων. Ωστόσο, μία από τις προκλήσεις με τις υφιστάμενες εφαρμογές του IoT είναι ότι οι συσκευές δεν είναι (ή είναι ελάχιστα) συμβατές μεταξύ τους, διότι τα δεδομένα τους εξαρτώνται από ιδιόκτητες κωδικοποιήσεις και δεν χρησιμοποιούν κοινό λεξιλόγιο για να εξηγήσουν τα

συμβατά δεδομένα του IoT. Οι τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού χρησιμοποιούνται στο διαδίκτυο των πραγμάτων για την αντιμετώπιση ζητημάτων διαλειτουργικότητας των δεδομένων που παράγονται από συσκευές που χρησιμοποιούνται στην πραγματική ζωή. Ο Σημασιολογικός Ιστός ασχολείται με το IoT και το WoT. Με την αξιοποίηση της πραγματικής δυναμικής που προσφέρουν οι τεχνολογίες του, προτάθηκαν διάφορα πλαίσια του διαδικτύου των πραγμάτων, τα οποία αντιμετωπίζουν τα ζητήματα διαλειτουργικότητας των δεδομένων με τη χρήση τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού και προτύπων. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, μπορεί να χειριστεί η διαλειτουργικότητα, η αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων, η ανακάλυψη πόρων, η ενοποίηση, η λογική και η αναζήτηση. Ομοίως, οι σημασιολογικές τεχνολογίες αντιμετωπίζουν i) τη μείωση της ετερογένειας με τη χρήση σημασιολογικής διαλειτουργικότητας, ii) την απλή ενσωμάτωση της εφαρμογής δεδομένων, iii) τη συναγωγή και η εξόρυξη νέων γνώσεων για την ανάπτυξη εφαρμογών και την παροχή έξυπνων λύσεων, και iv) την εξασφάλιση διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων διαδικασιών δεδομένων με εκπροσώπηση, διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων.

3.2.1.5 Mining and analytics

Καθώς υπάρχει τεράστιος όγκος πληροφοριών στο διαδίκτυο, πάνω από ένα δισεκατομμύριο σελίδες ευρετηριάζονται μέσω μηχανών αναζήτησης και ως εκ τούτου η αναζήτηση των επιθυμητών πληροφοριών αποτελεί εξαιρετικά δύσκολο έργο. Αυτός ο πλούτος πόρων ενθάρρυνε την ανάγκη ανάπτυξης αυτόματων τεχνικών εξόρυξης στον Παγκόσμιο Ιστό, δημιουργώντας έτσι τον όρο «Web Mining». Οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού ιστού αντιμετωπίζουν το ζήτημα της εξαγωγής πληροφοριών από το διαδίκτυο προσφέροντας μηχαναγνώσιμα σημασιολογικά στοιχεία. Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση των τεχνολογιών και της εξόρυξης μέσω διαδικτύου παρέχει μια καλύτερη μέθοδο για την εξόρυξη συναφών και σημασιολογικών πληροφοριών από τον ιστό, δημιουργώντας έτσι τον όρο «Semantic Web Mining». Με τη χρήση τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού με συνδεδεμένα ανοικτά δεδομένα, υποστηρίζεται η ανακάλυψη γνώσεων.

4

Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Η εποχή του IoT βρίσκεται πάνω μας, με τεράστιο αριθμό συσκευών σε όλους. Μεγάλος αριθμός εφαρμογών στους τομείς των έξυπνων πόλεων, της ηλεκτρονικής υγείας, της ασφάλειας και σε άλλους τομείς εκμεταλλεύονται τις τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων, όπως αισθητήρες, έξυπνα τηλέφωνα και ενεργοποιητές. Μία από τις σημαντικότερες πτυχές του διαδικτύου των πραγμάτων είναι η διασύνδεση των πραγμάτων που παρέχει ένα διασυνδεδεμένο σύστημα διαφορετικών υπηρεσιών και εφαρμογών. Καθημερινά παράγονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων και τα δεδομένα αυτά παρέχουν εξαιρετικά πολύτιμες βάσεις δεδομένων γνώσης. Το IoT προσπαθεί να εκτιμήσει μια κατάσταση με βάση τις γνώσεις δεδομένων προκειμένου να δώσει τη δυνατότητα στις υπηρεσίες να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις [10]. Ωστόσο, έχουν προκύψει αρκετές προκλήσεις με τις υφιστάμενες τεχνολογίες του διαδικτύου των πραγμάτων όσον αφορά στη διαλειτουργικότητα των διαφορετικών τεχνολογιών, δεδομένου ότι τα δεδομένα τους βασίζονται σε προκαθορισμένες μορφοποιήσεις χωρίς να ακολουθούν ένα καθολικό λεξιλόγιο για την περιγραφή των διαλειτουργικών δεδομένων. Η βασική δομή του IoT είναι η επικοινωνία μηχανής προς μηχανή (M2M).

Το IoT είναι μια συλλογή «πραγμάτων» με ενσωματωμένη την επιστήμη της Ηλεκτρονικής, τις υπηρεσίες λογισμικού και συσκευές αισθητήρων και ενεργοποιητών, συνδεδεμένες με το διαδίκτυο ώστε να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους. Οι IoT συσκευές είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες και ικανότητα επεξεργασίας, που τους επιτρέπει να αναπτύσσονται σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα. [7]. Ο τομέας του IoT αναφέρεται δηλαδή σε ένα σύστημα συσκευών, διασυνδεδεμένων μεταξύ τους, εξοπλισμένων με υπολογιστική χωρητικότητα (έξυπνα αντικείμενα), αναγνωρίσιμα και ικανά να μεταφέρουν δεδομένα μέσω ενός δικτύου, χωρίς την απαιτούμενη ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Η ιδέα πίσω από την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας είναι η διάχυτη παρουσία έξυπνων συσκευών, οι

οποίες συνεργάζονται μεταξύ τους και αλληλοεπιδρώντας με τους ανθρώπους επιτυγχάνουν κοινούς στόχους [8].

Αν και η τεχνολογία αυτή έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως μόνο τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν ίχνη αυτής της τεχνολογίας πριν από πολλά χρόνια, ακόμη και με θεωρητικές ενδείξεις. Η πραγματική γέννηση του IoT χρονολογείται, σύμφωνα με εκτιμήσεις της Cisco, την περίοδο μεταξύ 2008 και 2009, όταν για πρώτη φορά, ο αριθμός των συνδεδεμένων αντικειμένων ξεπέρασε τον παγκόσμιο πληθυσμό. Το 2010, ο αριθμός τέτοιων αντικειμένων είχε σχεδόν διπλασιαστεί φτάνοντας περίπου τα 12,5 δισεκατομμύρια. Από τότε, το IoT, χάρη στις συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις και τις σημαντικές επενδύσεις από εταιρείες, έχει γίνει ολοένα και πιο διαδεδομένο στην καθημερινή ζωή. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του IoT-analytics, σήμερα υπάρχουν περίπου 20 δισεκατομμύρια συνδεδεμένα αντικείμενα παγκοσμίως και ο τομέας του IoT δημιουργεί μια αγορά περίπου 150 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το 2024, τα συνδεδεμένα αντικείμενα θα ξεπεράσουν τα 30 δισεκατομμύρια και η αγοραία αξία θα είναι περίπου 1 δισεκατομμύριο. Οι δυνατότητες για την ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι ατελείωτες. Πολλά θα εξαρτηθούν από τις προγραμματικές γραμμές που θα υιοθετήσουν οι κατασκευαστές της παγκόσμιας αγοράς για να καταστήσουν τις συνδεδεμένες συσκευές όσο το δυνατόν πιο συμβατές και έτσι να αυξήσουν τον βαθμό διαλειτουργικότητας και ενοποίησης χωρίς να παραμελούν τις πτυχές που σχετίζονται με την ασφάλεια.

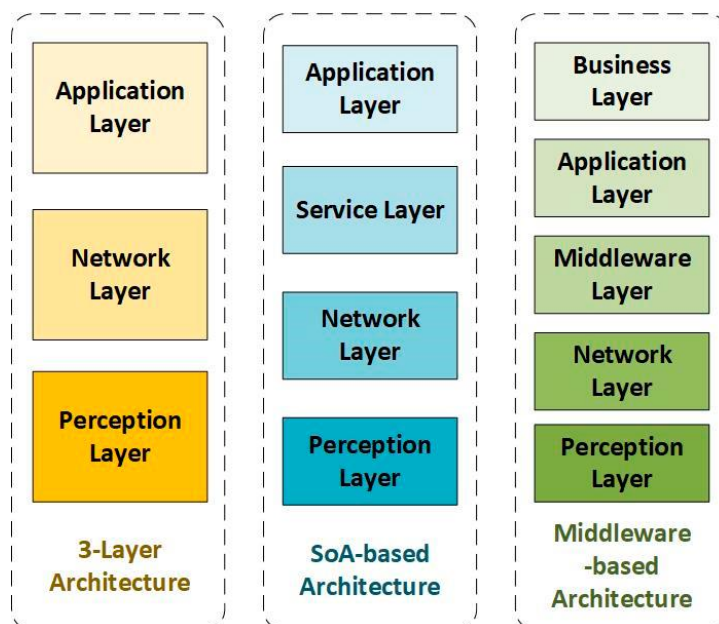
4.1 Αρχιτεκτονική

Μία από τις κύριες προκλήσεις στην εγκατάσταση συστημάτων IoT είναι ο καθορισμός μιας ενιαίας αρχιτεκτονικής αναφοράς που θα υποστηρίζει τα τρέχοντα χαρακτηριστικά και τις μελλοντικές επεκτάσεις. Για τον λόγο αυτό, μια τέτοια αρχιτεκτονική πρέπει να είναι:

1. κλιμακούμενη, για τη διαχείριση του αυξανόμενου αριθμού συσκευών και υπηρεσιών χωρίς υποβάθμιση των επιδόσεών τους,
2. διαλειτουργική, ώστε συσκευές από διαφορετικές εταιρείες να μπορούν να συνεργάζονται για την επίτευξη κοινών στόχων,
3. να διαμοιράζεται, ώστε να καταστεί δυνατή η δημιουργία ενός κατανεμημένου περιβάλλοντος στο οποίο, αφού συλλεγούν από διαφορετικές πηγές, τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία από διαφορετικές οντότητες με κατανεμημένο τρόπο,
4. να μπορεί να λειτουργεί με λίγους πόρους, δεδομένου ότι τα αντικείμενα έχουν γενικά περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και τέλος
5. να είναι ασφαλής ώστε να μην επιτρέπεται η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση [8].

Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ενιαία αρχιτεκτονική αναφοράς και η δημιουργία της αποδεικνύεται ιδιαίτερα περίπλοκη παρά τις πολλές προσπάθειες τυποποίησης. Το κύριο πρόβλημα έγκειται στον φυσικό κατακερματισμό των πιθανών εφαρμογών, καθεμία από τις

οποιές εξαρτάται από πολλές πολύ συχνά διαφορετικές μεταβλητές και προδιαγραφές σχεδιασμού. Το πρόβλημα αυτό πρέπει να προστεθεί στην τάση κάθε προμηθευτή να προτείνει την πλατφόρμα του για παρόμοιες εφαρμογές. Στην εικόνα 4.1, παρουσιάζονται οι συνηθέστερες χρησιμοποιούμενες αρχιτεκτονικές του IoT.



Εικόνα 4.1. Οι συνηθέστερες αρχιτεκτονικές του IoT [8]

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ορίζεται μια γενική αρχιτεκτονική που αποτελείται από τρία επίπεδα, Αντίληψης (Perception), Δικτύου (Network), και Εφαρμογής (Application).

4.1.1.1 Επίπεδο Αντίληψης

Το επίπεδο αντίληψης αντιπροσωπεύει το φυσικό επίπεδο των αντικειμένων και αλληλεπιδρά με το περιβάλλον μέσω της συλλογής και της επεξεργασίας πληροφοριών. Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει αντικείμενα τα οποία, δεδομένου ότι είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν με τον εξωτερικό κόσμο και να είναι εξοπλισμένα με υπολογιστικές ικανότητες, καθίστανται κατά κάποιον τρόπο «ευφυή» (intelligent) ή «έξυπνα» (smart), όπου τα έξυπνα αναφέρονται στις έξυπνες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, ενώ τα ευφυή αναφέρονται στις λειτουργικές πτυχές του αισθητήρα (αυτοπροσδιορισμός, αυτοδιάγνωση, αυτοέλεγχος κ.λ.π.).

4.1.1.2 Επίπεδο Δικτύου

Το επίπεδο δικτύου έχει ως καθήκον τη μεταφορά των δεδομένων που παρέχονται από το επίπεδο αντίληψης στο επίπεδο εφαρμογής. Περιλαμβάνει όλες τις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα που καθιστούν δυνατή την εν λόγω σύνδεση και δεν θα πρέπει να συγχέεται με το

επίπεδο δικτύου του μοντέλου ISO/OSI, το οποίο απλώς διοχετεύει τα δεδομένα εντός του δικτύου κατά μήκος της βέλτιστης διαδρομής.

4.1.1.3 Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει όλο το λογισμικό που είναι απαραίτητο για την παροχή κάποιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Σε αυτό το επίπεδο, τα δεδομένα από τα προηγούμενα επίπεδα αποθηκεύονται, συγκεντρώνονται, φιλτράρονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία, ενώ χρησιμοποιούνται βάσεις δεδομένων, λογισμικό ανάλυσης κ.λπ. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας επεξεργασίας, τα δεδομένα διατίθενται σε πραγματικές εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων. Αυτό γίνεται συχνά με τη χρήση ορισμένων λογισμικών που ορίζονται ως ενδιάμεσο λογισμικό, το οποίο έχει ως αποστολή να αποκρύπτει την ανομοιογένεια των υποκείμενων στρωμάτων.

4.2 Προκλήσεις

Υπάρχουν τρεις πιθανές κατηγορίες προκλήσεων που πρέπει να ξεπεράσει το IoT και αυτές αφορούν στις επιχειρήσεις, στην κοινωνία και στην τεχνολογία. Οι προκλήσεις στον επιχειρηματικό τομέα αφορούν κυρίως τον προσδιορισμό των κινήτρων για την έναρξη επενδύσεων ή όχι σε ένα συγκεκριμένο προϊόν και τον σχεδιασμό ενός επιχειρηματικού μοντέλου για την επίτευξη οικονομικού οφέλους. Στην κατηγορία αυτή, ανάλογα με τη χρήση και το είδος του πελάτη, τα προϊόντα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- Καταναλωτικό διαδίκτυο των πραγμάτων (έξυπνα τηλέφωνα, έξυπνο αυτοκίνητο, έξυπνο ρολόγια κ.λπ.)
- Εμπορικό IoT (IoT Healthcare, Smart City, κ.λπ.)
- Βιομηχανικό IoT (περιλαμβάνει διάφορους τύπους συσκευών για βιομηχανική χρήση)

Οι προκλήσεις στον κοινωνικό τομέα είναι να προσδιοριστούν με την οπτική γωνία του πελάτη που επωφελείται από ένα προϊόν. Για τον σκοπό αυτό, είναι αναγκαίο να εξεταστούν ορισμένα στοιχεία, όπως η συνεχής αλλαγή των απαιτήσεων και των απαιτήσεων που επιβάλλονται από τον πελάτη, η εμφάνιση νέων συσκευών, η εμπιστοσύνη των πελατών σε συγκεκριμένα εμπορικά σήματα και προϊόντα και η έλλειψη γνώσης των βέλτιστων πρακτικών όσον αφορά την ιδιωτική ζωή και την ασφάλεια. Επίσης, παρόλο που οι τρέχουσες τεχνολογίες που ανήκουν στον τομέα του διαδικτύου των πραγμάτων μπορούν πλέον να οριστούν ως προηγμένες, μπορούν να προσδιοριστούν αρκετοί τομείς που χρήζουν περαιτέρω ανάπτυξης [8].

Τέλος, το IoT χρειάζεται ελάχιστα συστατικά στοιχεία για να ενσωματωθεί σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης. Τα συστατικά μέρη τους πρέπει να συλλέγουν γρήγορα την αναγκαία ενέργεια από τον περιβάλλοντα χώρο τους και να την χρησιμοποιούν με αποδοτικό τρόπο. Τα

έξυπνα αντικείμενα πρέπει να αντιστέκονται σε αντίξοες συνθήκες, είτε πρόκειται για υγρασία, θερμοκρασία και κραδασμούς, πρέπει επίσης να είναι εξαιρετικά αξιόπιστες και να εγγυώνται πολύ υψηλή και σταθερή ποιότητα. Μια άλλη πτυχή που συχνά υποτιμάται είναι η ικανότητα των έξυπνων συσκευών να αυτοδιαμορφώνονται και να οργανώνονται. Επιπλέον, θα πρέπει να βρεθούν τυποποιημένα πρωτόκολλα για την ταυτοποίηση των αντικειμένων με μοναδικό τρόπο. Επιπλέον, ένας κρίσιμος τομέας αφορά την ασφάλεια για την εξεύρεση λύσεων για την ασφάλεια των συνδεδεμένων αντικειμένων, αποτρέποντας κυβερνο-επιθέσεις που μπορούν να υπονομεύσουν την παγκόσμια ανάπτυξη του διαδικτύου των πραγμάτων.

Το διαδίκτυο των πραγμάτων δεν είναι το τελευταίο βήμα της μακράς εξέλιξης που ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '80. Στην πραγματικότητα, από το IoT προκύπτουν σήμερα δύο μερικώς αλληλεπικαλυπτόμενοι επιστημονικοί κλάδοι: 1) το WoT και 2) το SWoT. Και τα δύο αποσκοπούν στην υπέρβαση της φύσης των συστημάτων του διαδικτύου των πραγμάτων με τη χρήση των διαδικτυακών πρωτοκόλλων για την πρόσβαση και τη χρήση ενός νέου είδους διαδικτυακού πόρου: το πράγμα. Αν και οι ονομασίες είναι παρόμοιες, οι προσεγγίσεις τους είναι ελαφρώς διαφορετικές. Το WoT προωθεί την ανάγκη για πρότυπα διαδικτύου, για την επίλυση των ζητημάτων που εμποδίζουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συστημάτων λόγω της υψηλής ετερογένειας των τεχνολογιών που εμπλέκονται στις εφαρμογές IoT, ενώ από την άλλη πλευρά, το SWoT περιλαμβάνει στο όραμά του την υιοθέτηση των προτύπων που προέρχονται από το Σημασιολογικό Ιστό, για τον επανασχεδιασμό του ιστού ως ένα μηχανικά κατανοητό αποθετήριο δεδομένων [16].

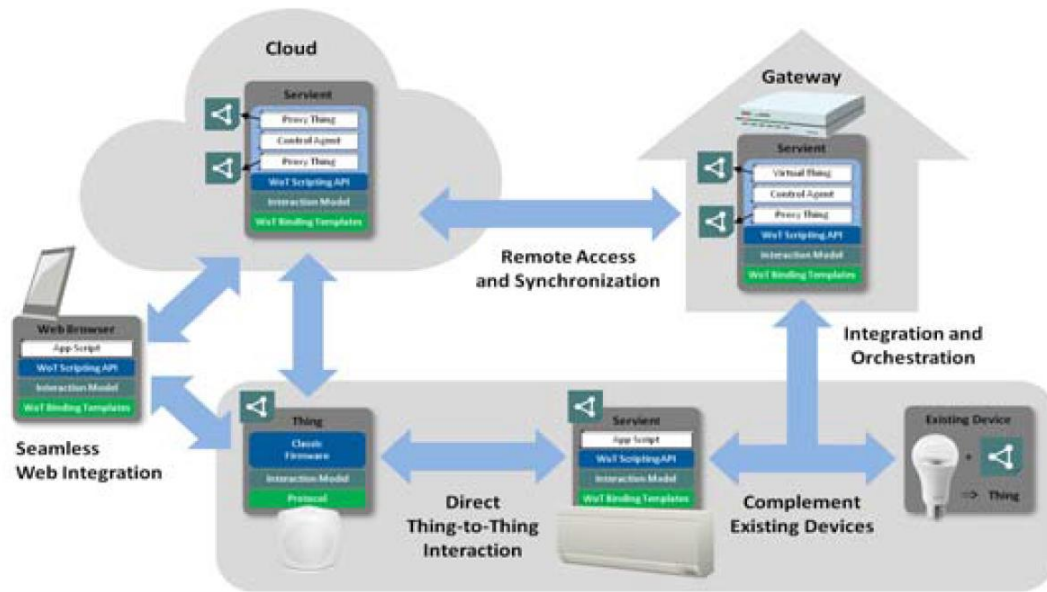
5

Ιστός των Πραγμάτων (WoT)

Το IoT και ο Παγκόσμιος Ιστός συνδέονται στενά μεταξύ της. Από τη μία πλευρά, ο σημασιολογικός ιστός περιλαμβάνει λεξιλόγια και σημασιολογικά μοντέλα για το διαδίκτυο των πραγμάτων, ενώ από την άλλη πλευρά, το WoT, που υποστηρίζει στη χρήση του Web ως διαλειτουργικής πλατφόρμα για δεδομένα IoT, έχει αναπτύξει μια μεγάλη κοινότητα έρευνας και έχει υιοθετηθεί από τη βιομηχανία. Η προσέγγιση του WoT στοχεύει στους πόρους. Υποστηρίζει αρχιτεκτονικές που βασίζονται σε καθιερωμένες τεχνολογίες Ιστού και διεπαφές RESTful για το IoT. Η πρωτοβουλία WoT στοχεύει στην ενοποίηση του κόσμου των διασυνδεδεμένων συσκευών (Things) μέσω του Διαδικτύου. Κάθε συσκευή πρέπει να δημοσιεύεται στον Ιστό, να ανακαλύπτεται από της μηχανές αναζήτησης Ιστού και να χρησιμοποιείται ξανά σε εφαρμογές [12].

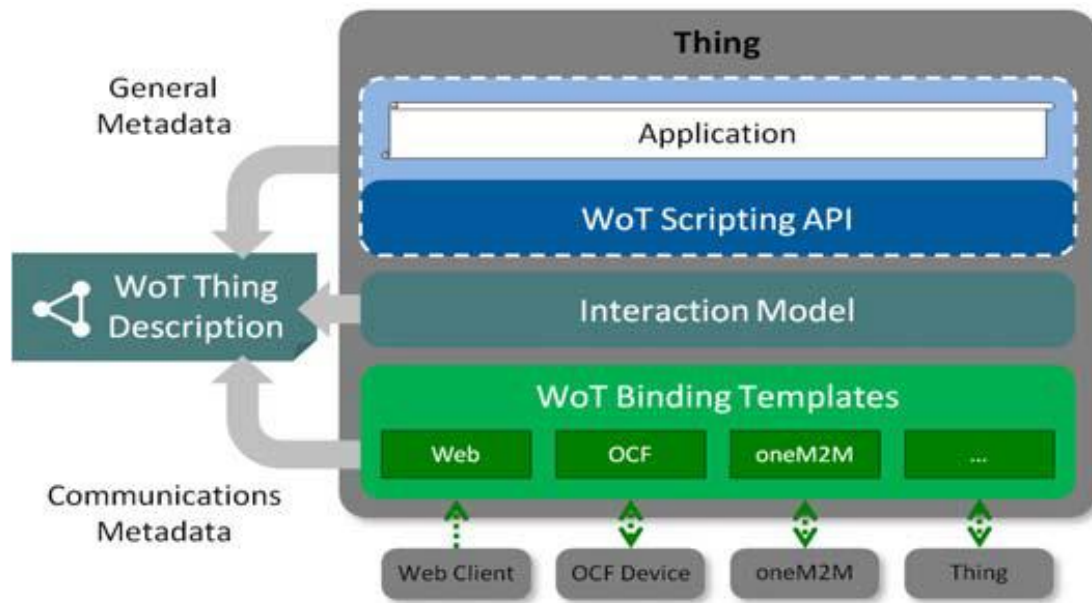
5.1 Αρχιτεκτονική

Το WoT αποτελεί εξέλιξη του IoT. Η Κοινοπραξία Παγκόσμιου Ιστού (W3C) προτείνει την επέκταση του Ιστού από Ιστό των σελίδων σε Ιστό των Πραγμάτων. Η αρχιτεκτονική WoT (εικόνα 5.1) αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία: i) το επίπεδο της συνδεδεμένης συσκευής (Thing), ii) το επίπεδο πύλης ή Edge και iii) το επίπεδο υπολογιστικού νέφους [15].



Εικόνα 5.1. Αρχιτεκτονική του WoT [15].

Ο όρος Thing (πράγμα) μπορεί να αναφέρεται σε οποιαδήποτε συσκευή: έναν αισθητήρα θερμοκρασίας ή εγγύτητας, έναν ενεργοποιητή παραθύρων, μια καφετιέρα, μια έξυπνη τηλεόραση, μια γκαραζόπορτα συνδεδεμένη με Wi-Fi ή ένα έξυπνο αυτοκίνητο. Η Αρχιτεκτονική WoT του W3C θέτει τις απαιτήσεις για την αλληλεπίδραση με τα πράγματα στον Παγκόσμιο Ιστό χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική REST. Τα Things εκτίθενται και περιγράφονται σε εφαρμογές και υπηρεσίες υψηλότερου επιπέδου ως αντικείμενα λογισμικού με APIs που αντιστοιχούν σε συμβάντα (events), ιδιότητες (properties) και ενέργειες (actions). Τα Things μαζί με τις περιγραφές τους αναφέρονται ως Thing Description (TD). Η περιγραφή TD του W3C είναι μια αναπαράσταση προτύπου JSON των ιδιοτήτων Thing (π.χ. σκοπός, τύποι δεδομένων και λειτουργίες). Τα TD χρησιμοποιούνται για την έκθεση των μεταδεδομένων του Thing στον Ιστό, έτσι ώστε άλλα πράγματα ή πελάτες (π.χ. υπηρεσίες ή χρήστες) να μπορούν να αλληλεπιδράσουν μαζί της. Η προσπάθεια υποστηρίζεται από ένα σύνολο εργαλείων προγραμματιστών και μια λίστα υποψήφιων υλοποιήσεων[13]. Οι συσκευές πραγματικού κόσμου μπορούν να εφαρμόσουν οποιοδήποτε από ένα ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων για συγκεκριμένες εφαρμογές (π.χ. Bluetooth, MQTT, ZigBee κ.λπ.). Ωστόσο, η σύσταση της αρχιτεκτονικής του WoT του W3C δεν δεσμεύεται σε καμία εφαρμογή και δεν εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες των πρωτοκόλλων IoT. Μια λύση σε αυτή την ιδιαιτερότητα είναι η ανάπτυξη του διακομιστή μεσολάβησης σε έναν πάροχο (ή σε μια πύλη) που διατηρεί έναν κατάλογο με όλα τα TD. Με αυτόν τον τρόπο, τα πράγματα γίνονται μέρος του ιστού και μπορούν να προσπελαστούν μέσω του διακομιστή μεσολάβησης της (δηλαδή μπορούν να δημοσιευτούν, να συγκεντρωθούν και να αναζητηθούν).



Εικόνα 5.2. Λειτουργικά δομικά στοιχεία του WoT.

Το σημείο εκκίνησης του WoT και της αρχιτεκτονικής του είναι το ίδιο το Thing, που μπορεί να είναι πραγματικό ή εικονικό, συνδεδεμένο ή όχι. Το WoT αποτελείται από τρία κύρια δομικά στοιχεία (i) Περιγραφή πραγμάτων (TD), (ii) Δεσμευτικά Πρότυπα και (iii) Scripting API, ενώ οι μηχανισμοί ασφαλείας εφαρμόζονται και στα τρία από αυτά (εικόνα 5.2).

5.2 WoT Thing Description (TD)

Το TD βασίζεται σε ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης και υποστηρίζει διάφορα πρότυπα ανταλλαγής μηνυμάτων, συμπεριλαμβανομένης της αίτησης/απόκρισης και της δημοσίευσης/συνδρομής. Το πρότυπο αλληλεπίδρασης του TD αποτελείται από συμβάντα (events), ιδιότητες (properties) και ενέργειες (actions). [3]. Τα συμβάντα(events), είναι βασικά γενικές αλληλεπιδράσεις κατά τις οποίες τα απομακρυσμένα καταληκτικά σημεία, άλλα πράγματα ή εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων ανταλλάσσουν δεδομένα. Ιδιότητες(properties) είναι τα δεδομένα των πραγμάτων που μπορούν να διαβαστούν (πχ. αισθητήρες) και/ή να γράφονται (πχ. ενεργοποιητές). Οι ενέργειες (actions) είναι αξιοποιήσιμες διαδικασίες που σχετίζονται κυρίως με σκοπούς ελέγχου σε ενεργοποιητές. Τα εν λόγω TD αποθηκεύονται κυρίως σε κατάλογο Thing, ο οποίος είναι παρόμοιος με τον κατάλογο βασικών πόρων. Το Thing Directory παρέχει διάφορες διαδικτυακές υπηρεσίες για καταχώριση, επικαιροποίηση, (αυτόματη) αφαίρεση και ανακάλυψη TD. Τα TD περιγράφονται με τη χρήση του JSON-LD, το οποίο παρέχει έναν καλό μηχανισμό για μηχαναγνώσιμη σημασιολογία. Στην συνέχεια παρουσιάζονται δυο παραδείγματα TD.

MyLampThingTemplate

Το MyLampThingTemplate αποτελεί την περιγραφή (TD) ενός λαμπτήρα ο οποίος αποτελείται από συμβάντα (events), ιδιότητες (properties) και ενέργειες (actions). [22]

```
{
  "@context": ["https://www.w3.org/2019/wot/td/v1"],
  "@type": "ThingTemplate",
  "title": "Lamp Thing Description Template",
  "description": "Lamp Thing Description Template",
  "properties": {
    "status": {
      "description": "current status of the lamp (on|off)",
      "type": "string",
      "readOnly": true
    }
  },
  "actions": {
    "toggle": {
      "description": "Turn the lamp on or off"
    }
  },
  "events": {
    "overheating": {
      "description": "Lamp reaches a critical temperature (overheating)",
      "data": {"type": "string"}
    }
  }
}
```

MyBuzzerThingTemplate

Το MyBuzzerThingTemplate αποτελεί την περιγραφή (TD) ενός buzzer με τις ενέργειες (actions) του.[22]

```
{
  "@context": ["https://www.w3.org/2019/wot/td/v1"],
  "@type": "ThingTemplate",
  "title": "Buzzer Thing Description Template",
  "description": "Thing Description Template of a buzzer that makes noise for 10 seconds",
}
```

```
"actions": {
  "buzz": {
    "description" : "buzz for 10 seconds"
  }
}
```

5.3 Προκλήσεις

Η ιδέα της ενσωμάτωσης φυσικών αντικειμένων και της επικοινωνίας μεταξύ τους δεν είναι νέα. Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διάφορες τεχνολογίες και πρότυπα. Από τις τεχνολογίες αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί και εδραιωθεί το όραμα του Ιστού των Πραγμάτων. Ωστόσο, μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις μέχρι σήμερα είναι η αντιμετώπιση της διαλειτουργικότητας των εν λόγω αντικειμένων, τεχνολογιών και προτύπων εντός της κοινού πλαισίου. Η εξάπλωση του διαδικτύου των πραγμάτων και, κατά συνέπεια, του WoT αναμένεται να δημιουργήσει τεράστιο όγκο αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και όχι μόνο δεδομένων της υπηρεσίες του Διαδικτύου. Αυτό οδηγεί σε μεγάλο αριθμό πληροφοριών και υπηρεσιών που χρήζουν ερμηνείας. Σε αντίθεση με της παραδοσιακές ιστοσελίδες και τα έγγραφα που είναι προσβάσιμα στον παρόντα δικτυακό τόπο, το WoT θα προσφέρει δυναμικό περιεχόμενο που θα αλλάξει γρήγορα λόγω της φύσης των δεδομένων του διαδικτύου των πραγμάτων. Οι μηχανές αναζήτησης του WoT θα πρέπει να παρέχουν αποτελεσματικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να ανακαλύπτουν δυναμικά υπηρεσίες [10]. Τέλος, θέματα ασφάλειας, ιδιωτικότητας και εμπιστοσύνης μεταξύ των διαφόρων έξυπνων αντικειμένων και χρηστών αποτελούν ζωτικό ζήτημα για το WoT.

Το IoT θα συνδέει συσκευές, εγκαταστάσεις και δίκτυα με προηγμένους αισθητήρες, ελεγκτές και εφαρμογές λογισμικού. Σε συνδυασμό με τη δύναμη της ανάλυσης, της τεχνητής συλλογιστικής, της αυτοματοποίησης και της εμπειρογνωμοσύνης σε βάθος στον τομέα, έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη βελτίωση των επιδόσεων σε όλους της τομείς της παγκόσμιας βιομηχανίας. Ωστόσο, το όραμα του διαδικτύου των πραγμάτων τίθεται σήμερα υπό αμφισβήτηση από μια σειρά ζητημάτων, λίγα από τα οποία συνδέονται με τα στεγανά δεδομένων, τη διαλειτουργικότητα των μηχανών, την αυτοματοποιημένη ανακάλυψη πόρων, τη σαφή ερμηνεία των δεδομένων του διαδικτύου των πραγμάτων, την ομαλή μηχανική και συντήρηση των συστημάτων του διαδικτύου των πραγμάτων και πολλά άλλα. Ως εκ τούτου, ορισμένες προκλήσεις που δικαιολογούν την ανάγκη του IoT Semantics είναι οι εξής:

- **Σημασιολογική διαλειτουργικότητα:** διασφαλίζει ότι τα δεδομένα του διαδικτύου των πραγμάτων μπορούν να γίνουν κατανοητά τόσο από της ανθρώπους/χρήστες όσο και

από τα προγράμματα λογισμικού σε διάφορες πλατφόρμες και τομείς. Προσφέρει αλληλεπίδραση μεταξύ ετερογενών πραγμάτων σε υψηλότερο επίπεδο άντλησης.

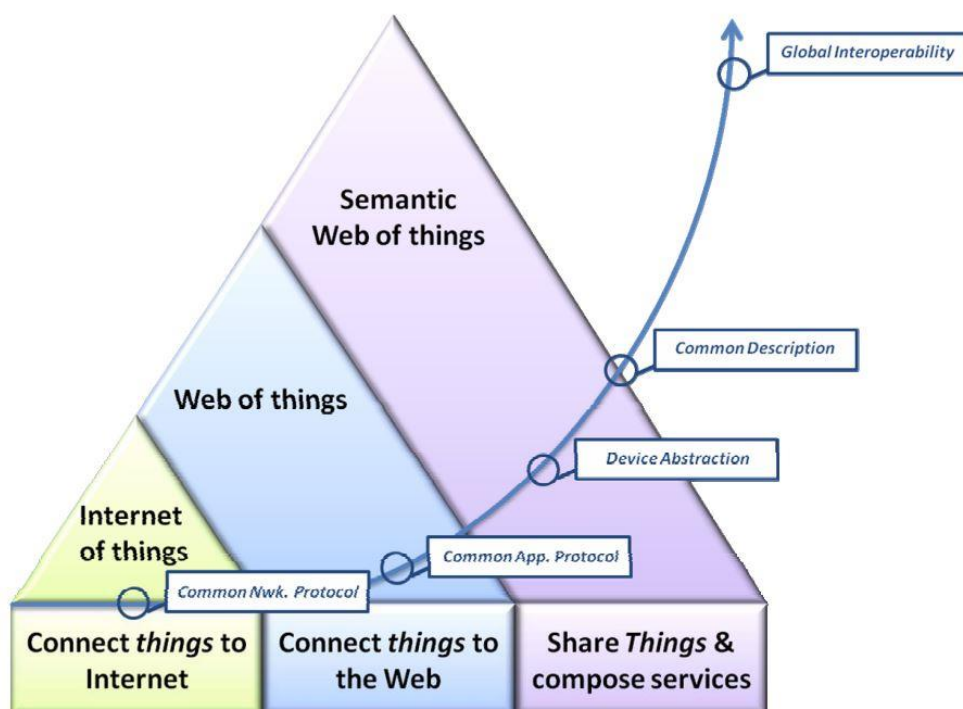
- Ερμηνεία δεδομένων και γνώσεων: καθιστά τα δεδομένα που παράγονται από τα πράγματα κατανοητά από μηχανές και ανθρώπους, χωρίς προηγούμενη γνώση των πραγμάτων που τα παρήγαγαν.
- Αμφισημία: αφορά μια σαφή έννοια των δεδομένων και των ιδιοτήτων των πραγμάτων. Για παράδειγμα, δεν αρκεί να είναι γνωστό ότι υπάρχει ένα πράγμα, αλλά είναι σημαντικό να γίνεται κατανοητό τι ακριβώς είναι μια ικανότητα του πράγματος και να γίνεται αντιληπτό με σαφήνεια τα δεδομένα που παράγει ή καταναλώνει.
- Ολοκλήρωση δεδομένων/γνώσεων: ενσωματώνει δεδομένα/γνώσεις από πολλαπλούς κάθετους τομείς σε εφαρμογές και άλλων τομέων [14].

6

Ο Σημασιολογικός Ιστός των Πραγμάτων (SWoT)

Πολλά από τα υπάρχοντα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του IoT είναι απομονωμένα σε σχέση με συγκεκριμένες λύσεις προμηθευτών, από συσκευές και δεδομένα έως πλατφόρμες και εφαρμογές. Το διαδίκτυο των πραγμάτων πρέπει να προωθηθεί προς ένα πιο ανοικτό, διαλειτουργικό και συνεργατικό διαδίκτυο των πραγμάτων. Το πρώτο βήμα ήταν το WoT. Ο Ιστός των Πραγμάτων αναπτύσσει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων με μια κοινή στοίβα από διαδικτυακές υπηρεσίες. Για το άνοιγμα τέτοιων κλειστών λύσεων και τη διασύνδεση διαφορετικών εφαρμογών IoT, το WoT παρέχει στην τεχνολογία IoT διαφορετικά APIs (π.χ. REST, GraphQL, SPARQL) και ενσωματώνει το IoT στην αρχιτεκτονική ιστού. Ωστόσο, ακόμη και όταν επιτυγχάνεται ομοιογενής πρόσβαση μέσω διαδικτυακών πρωτοκόλλων, δεν έχει ακόμη επιτευχθεί η χρήση κοινών προτύπων. Ενώ το WoT βελτιώνει τη συνδεσιμότητα και την προσβασιμότητα του IoT, οι οντολογίες που βασίζονται σε τεχνολογίες σημασιολογικού Ιστού παρέχουν προδιαγραφές κατανοητές από μηχανές και αναγνώσιμες από τον άνθρωπο, οι οποίες υιοθετούνται σε μεγάλο βαθμό στη βιομηχανία για σκοπούς διαλειτουργικότητας και σύμπραξης. Έτσι, μέσω του Σημασιολογικού Ιστού και του WoT, το IoT εξελίσσεται ώστε να είναι σημασιολογικά διαλειτουργικό και υπερσυνδεδεμένο σε ανοιχτά και συνδεδεμένα περιβάλλοντα, ειδικά με τη χρήση συγκεκριμένων URIs αντί για αυθαίρετα αναγνωριστικά και με την παροχή διασύνδεσης μεταξύ των πόρων (τις συσκευές, φυσικές οντότητες) και των καταστάσεων και χαρακτηριστικών του [10,11]. Οι τεχνολογίες του Σημασιολογικού Ιστού χρησιμοποιούνται ευρέως για την ερμηνεία και την ενσωμάτωση δεδομένων που προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία πόρων στο διαδίκτυο. Κύριος στόχος του Σημασιολογικού Ιστού είναι η παροχή μιας μορφής περιεχομένου που να είναι κατανοητή και να μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία τόσο από υπολογιστές όσο και από ανθρώπους. Ο τομέας του IoT υιοθέτησε πρόσφατα διάφορες τεχνολογίες του σημασιολογικού ιστού με σκοπό την ενίσχυση του περιεχομένου των δεδομένων και της διαλειτουργικότητας.

Το SWoT [11] προκύπτει από τον συνδυασμό δυο πολύ σημαντικών τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών: του Σημασιολογικό Ιστού και του WoT. Στην εικόνα 6.1 παρουσιάζονται οι φάσεις που θα πρέπει να ακολουθήσει το IoT για να καταστεί SWoT που τροφοδοτείται από τις διαδικτυακές τεχνολογίες.



Εικόνα 6.1. Εξέλιξη του IoT στο SWoT [24].

Η πρώτη φάση αφορά την διασύνδεση όλων με το διαδίκτυο. Η δεύτερη φάση καθιστά δυνατή την απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα μεταξύ των ετερογενών οντοτήτων. Μόλις επιτευχθεί η συνδεσιμότητα, το IoT χρειάζεται ένα κοινό πρωτόκολλο για τη σύνδεση των πραγμάτων με το διαδίκτυο. Για τον λόγο αυτό στο επόμενο στάδιο θα συνδεθούν τα πράγματα με το διαδίκτυο χρησιμοποιώντας τις πρότυπες λύσεις που έχουν ήδη υιοθετηθεί στο διαδίκτυο (HTTP, HTML κ.λπ.), με αποτέλεσμα τη δημιουργία του WoT. Το WoT επιτρέπει στα διάφορα πράγματα και συστήματα να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία πιο σύνθετων υπηρεσιών και λύσεων. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές ενεργοποιούνται μέσω ορισμού των διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (API) πάνω στο πρωτόκολλο HTTP ή CoAP. Ως εκ τούτου, οι εφαρμογές αξιοποιούν το πρωτόκολλο HTTP για την παροχή διεπαφής για τη δημοσίευση δεδομένων σε ένα σύστημα, για την ανάκτηση δεδομένων από το σύστημα και εν γένει για την ανταλλαγή πληροφοριών.

Η νέα πρόκληση, μετά το WoT, είναι η δημιουργία του SWoT προκειμένου να εξασφαλιστούν κοινά πρότυπα. Κάθε διαθέσιμος πόρος στο σημασιολογικό ενεργοποιημένο Web θα πρέπει να

σχολιάζεται, χρησιμοποιώντας RDF και OWL οντολογίες. Τόσο η RDF όσο και η OWL ορίζονται μέσω της XML Schema. Ο σημασιολογικός εμπλουτισμός χρησιμοποιεί διάφορα πρότυπα σημασιολογικού ιστού, της RDF, RDFs και OWL για την κατασκευή μοντέλων, τις οντολογίες για την περιγραφή διαφορετικών εννοιών τομέα και των συνδέσεων που υπάρχουν μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό, ο σημασιολογικός εμπλουτισμός μετατρέπει τον ανθρωποκεντρικό ιστό σε έναν μηχαναγνώσιμο ιστό. Εκτός από αυτό, το σημασιολογικό διαδίκτυο παρέχει διάφορα πρωτόκολλα και γλώσσες αναζήτησης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναζήτηση και την αιτιολόγηση σε σύνολα δεδομένων RDF για να συνταχθούν νέες γνώσεις από αυτά.

Το SWoT αποτελεί συνέχεια του WoT που προσπαθεί να επιλύσει τα προβλήματα που προκύπτουν από τα ετερογενή συστήματα και παρέχει καλύτερη κατανόηση των διαφόρων τομέων του IoT. Κύριος σκοπός του WoT είναι να καταστήσει δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των πλατφορμών και των τομέων εφαρμογής του IoT. Συνολικά, σκοπός του WoT είναι η διατήρηση και η συμπλήρωση των υφιστάμενων προτύπων και λύσεων του διαδικτύου των πραγμάτων. Με τη σημασιολογική τεχνολογία στο WoT, η γνώση του τομέα και οι βασικές πληροφορίες συνδυάζονται με δεδομένα αισθητήρων, διευκολύνοντας την κατανόηση και την επεξεργασία των μηχανών. Επιπλέον, η σημασιολογία παρέχει μια συνεκτική αρχιτεκτονική περιγραφής που ενισχύει της πληροφορίες και την ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ μεταβλητών κόμβων αισθητήρων. Πριν από το WOT, οι αισθητήρες και ο κόσμος του Ιστού είχαν αποσυνδεθεί πλήρως. Τα δεδομένα σχετικά με το IoT που σχετίζονται με το διαδίκτυο θα βοηθήσουν της χρήστες σε διάφορους τομείς μέσω της άμεσης πρόσβασης σε δεδομένα αισθητήρων και μέσω της παρακολούθησης των πραγματικών παραμέτρων που είναι ενσωματωμένες με παρόμοιες πληροφορίες πλαισίου από τον Παγκόσμιο Ιστό. Στόχος του SWoT είναι να ενσωματώσει στον φυσικό κόσμο σημασιολογικά πλούσιες και εύκολα προσβάσιμες πληροφορίες. Αυτό μπορεί να επιτρέψει την δημιουργία νέων έξυπνων εφαρμογών και υπηρεσιών σε διάφορους επιχειρηματικούς τομείς, καθώς και στον καθημερινό τρόπο ζωής. Για να καταστεί δυνατό αυτό το όραμα, οι τεχνολογίες και τα πλαίσια πρέπει να αντιμετωπίσουν τυπικά διαδεδομένα ζητήματα πληροφορικής όπως την ετερογένεια πλατφόρμας, μεταβλητότητα πόρων, χρηστών και συσκευών, εξάρτηση από το πλαίσιο και τέλος τα αυστηρά υπολογιστικά όρια. Ως εκ τούτου, το όραμα SWoT απαιτεί διάχτυα συστήματα βασισμένα στη γνώση με υψηλούς βαθμούς αυτόνομης ικανότητας στην αποθήκευση, τη διαχείριση και την ανακάλυψη πληροφοριών, παρέχοντας επίσης διαφανή πρόσβαση σε πηγές πληροφοριών σε μια δεδομένη περιοχή.

6.1 Προκλήσεις

Το IoT γίνεται όλο και πιο δημοφιλές και οι εφαρμογές του αντιμετωπίζουν τεράστια διάδοση που οδηγεί σε ένα νέο ψηφιακό οικοσύστημα. Οι πλατφόρμες IoT αποτελούν ουσιαστικά τον ακρογωνιαίο λίθο μιας ολοκληρωμένης λύσης γενικότερα του IoT, καθώς επιτρέπουν τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων που παράγονται σε τελικά σημεία, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της ανάλυσης μαζικών δεδομένων και των εφαρμογών. Η ταχεία αύξηση του αριθμού των δικτυακών συσκευών που εγκαθίστανται στον πραγματικό κόσμο, η οποία ενισχύεται από της δυνατότητες επεξεργασίας πληροφοριών, έχει δημιουργήσει τεράστιες ποσότητες δεδομένων. Δεδομένου ότι το IoT βασίζεται σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών ετερογενών συστημάτων και τεχνολογιών, δεν υπάρχει τυποποιημένη γλώσσα για την αναπαράσταση και την επεξεργασία των δεδομένων. Αυτό συνέβαλε σε μεγάλο αριθμό ασυμβίβαστων συστημάτων IoT. Ως εκ τούτου, είναι πολύ δύσκολη η άντληση πληροφοριών από τον τεράστιο αριθμό δεδομένων που παρέχονται από της εφαρμογές του IoT ανά δευτερόλεπτο. Οι τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού προσπαθούν να ξεπεράσουν αυτές της προκλήσεις. Το σημασιολογικό διαδίκτυο αξιοποιεί διαδικτυακά πρότυπα και σημασιολογικές τεχνολογίες για τη διασύνδεση όλων των τύπων συσκευών, μετατρέποντας τα ανεπεξέργαστα δεδομένα αισθητήρων σε γνώσεις υψηλού επιπέδου που είναι κατανοητές από τον άνθρωπο και της μηχανές. Η διαλειτουργικότητα είναι μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις σε ένα περιβάλλον του διαδικτύου των πραγμάτων, όπου διαφορετικές συσκευές, υπηρεσίες και οντότητες προσπαθούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Η σημασιολογική μοντελοποίηση παράγει ένα σαφές σχήμα των δεδομένων, με δομημένο τρόπο δηλαδή, συνδυάζοντας γνώσεις εφαρμογής και πληροφορίες σχετικές με το πλαίσιο με δεδομένα αισθητήρων. Η ανάπτυξη με βάση την οντολογία, η οποία αποτελεί τομέα της σημασιολογικής μοντελοποίησης, των πλαισίων του IoT μπορεί να οδηγήσει σε καθολικές λύσεις του διαδικτύου των πραγμάτων πολλαπλασιάζοντας τα οφέλη του διαδικτύου των πραγμάτων. Η μετάβαση από το IoT στο WoT και στην συνέχεια στο SWoT αποτελεί πρόκληση. Ορισμένες από τις νέες προκλήσεις καθορίζουν μια κοινή περιγραφή που επιτρέπει την καθολική κατανόηση των δεδομένων, δημιουργώντας επεκτάσιμες σημειώσεις, δηλαδή από ελάχιστες σημασιολογικές περιγραφές σε πιο σύνθετες, και συμφωνώντας σε έναν κατάλογο σημασιολογικών περιγραφών (οντολογιών). Οι κυρίες προκλήσεις που συναντάμε στο SWoT είναι οι εξής:

- Ερμηνεία των δεδομένων του διαδικτύου των πραγμάτων.
- Διαλειτουργικότητα μεταξύ τομέων για τη διευκόλυνση της συμβατότητας μεταξύ ετερογενών συστημάτων για την δημιουργία οριζόντιων λύσεων εφαρμογών του IoT.
- Σχεδιασμός διαλειτουργικών εφαρμογών SWoT για να βοηθηθούν οι χρήστες στην ανάπτυξη νέων εφαρμογών IoT.

- Υποστήριξη Plug & Play για την αυτόματη σύνδεση και αναγνώριση αντικειμένων που βασίζονται σε ετερογενή υλικό, λογισμικό, λειτουργικό σύστημα κ.λπ. για τη λήψη των δεδομένων ή αλληλεπίδραση με αυτά.
- Σημασιολογία που εφαρμόζεται σε συσκευές με περιορισμούς για την ενσωμάτωση σημασιολογικής επεξεργασίας εντός των συσκευών για την αποφυγή αποστολής δεδομένων στο υπολογιστικό νέφος. Τα πρωτόκολλα και οι μορφότυποι δεδομένων πρέπει να είναι ελαφριά και προσαρμοσμένα στις συσκευές που υπόκεινται σε περιορισμούς. Επιπλέον, η επεξεργασία των δεδομένων του διαδικτύου των πραγμάτων θα πρέπει επίσης να είναι εφικτή.
- Διασφάλιση εφαρμογών και αρχιτεκτονικών του διαδικτύου των πραγμάτων για τη διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων αισθητήρων. Αυτό είναι απαραίτητο για την ασφάλεια επικοινωνιών και δεδομένων. [23]

7

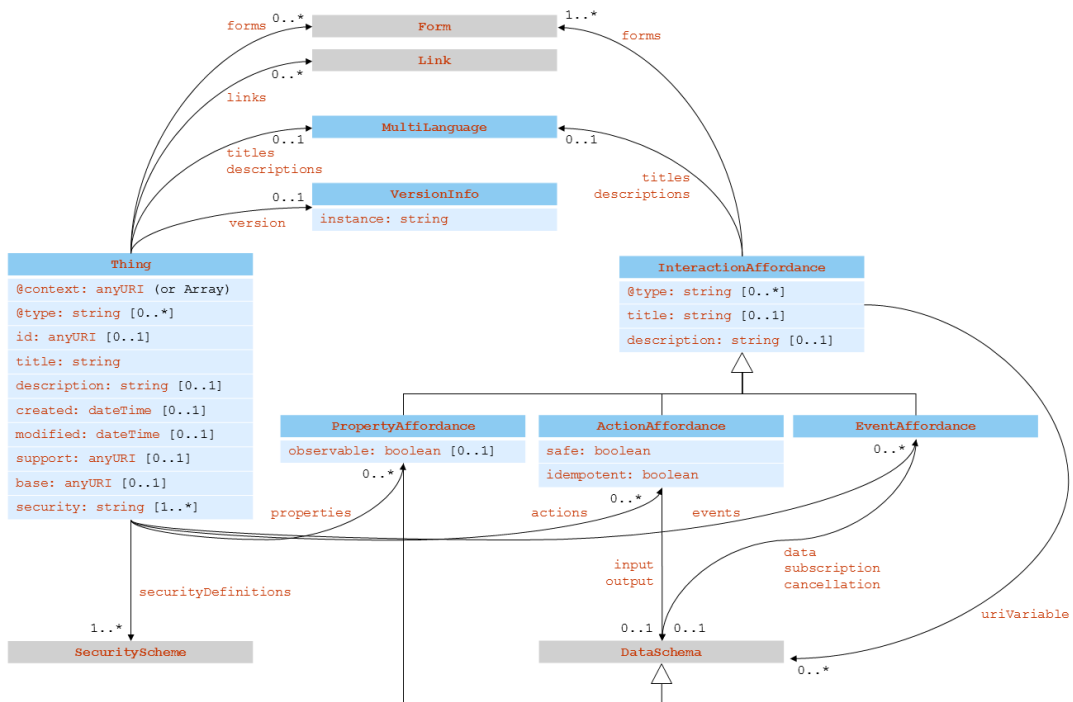
Thing Description

7.1 Το Μοντέλο Thing Description

Το μοντέλο πληροφοριών TD (Thing Description Information Model) χρησιμεύει ως η εννοιολογική βάση για την επεξεργασία των περιγραφών πραγμάτων (TD).

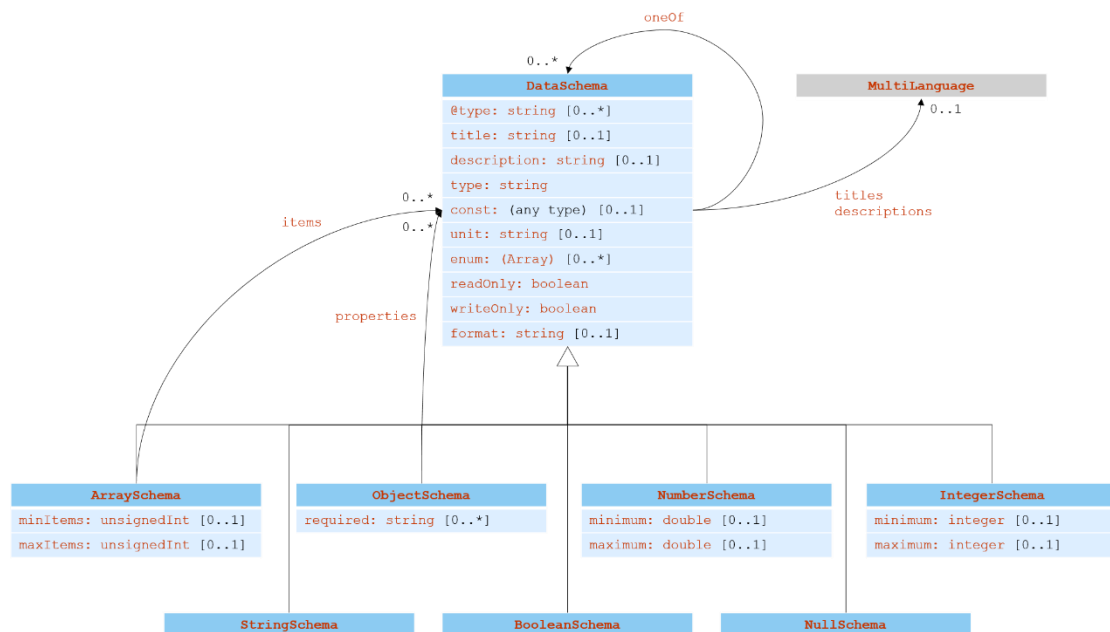
Το μοντέλο πληροφοριών TD βασίζεται στα ακόλουθα, ανεξάρτητα λεξιλόγια:

Το βασικό λεξιλόγιο TD (TD core vocabulary): το οποίο αντικατοπτρίζει το μοντέλο αλληλεπίδρασης με τις Ιδιότητες (Properties), τις Ενέργειες (Actions) και τα Συμβάντα (Events) αλληλεπίδρασης (Affordances) (εικόνα 7.1).



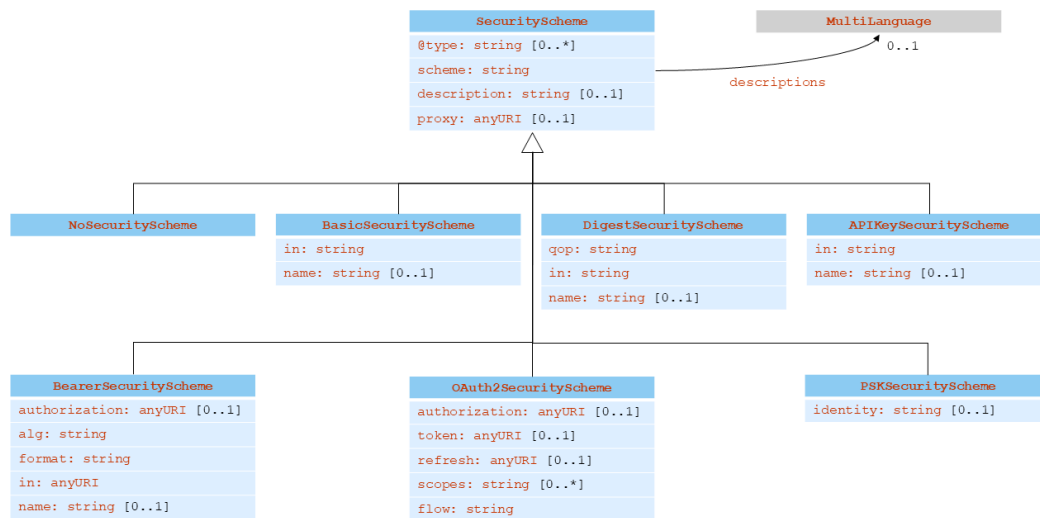
Εικόνα 7.1. TD core vocabulary [22].

Το λεξιλόγιο Data Schema (Data schema vocabulary): συμπεριλαμβανομένου (ένα υποσύνολο) των όρων που ορίζονται από το JSON-SCHEMA (εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2. Data schema vocabulary [22].

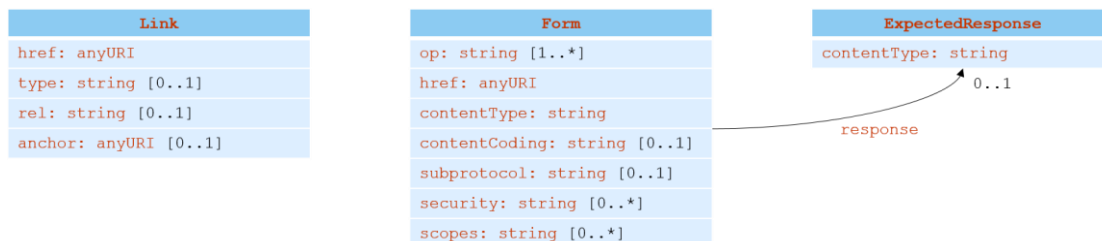
Το λεξιλόγιο *WoT Security* (*WoT security vocabulary*): το οποίο προσδιορίζει τους μηχανισμούς ασφαλείας και τις απαιτήσεις για τη διαμόρφωσή τους (εικόνα 7.3).



Εικόνα 7.3. *WoT security vocabulary* [22].

Το λεξιλόγιο *Hypermedia Controls* (*Hypermedia controls vocabulary*): που κωδικοποιεί τις βασικές αρχές της RESTful επικοινωνίας χρησιμοποιώντας συνδέσμους και φόρμες (εικόνα 7.4).

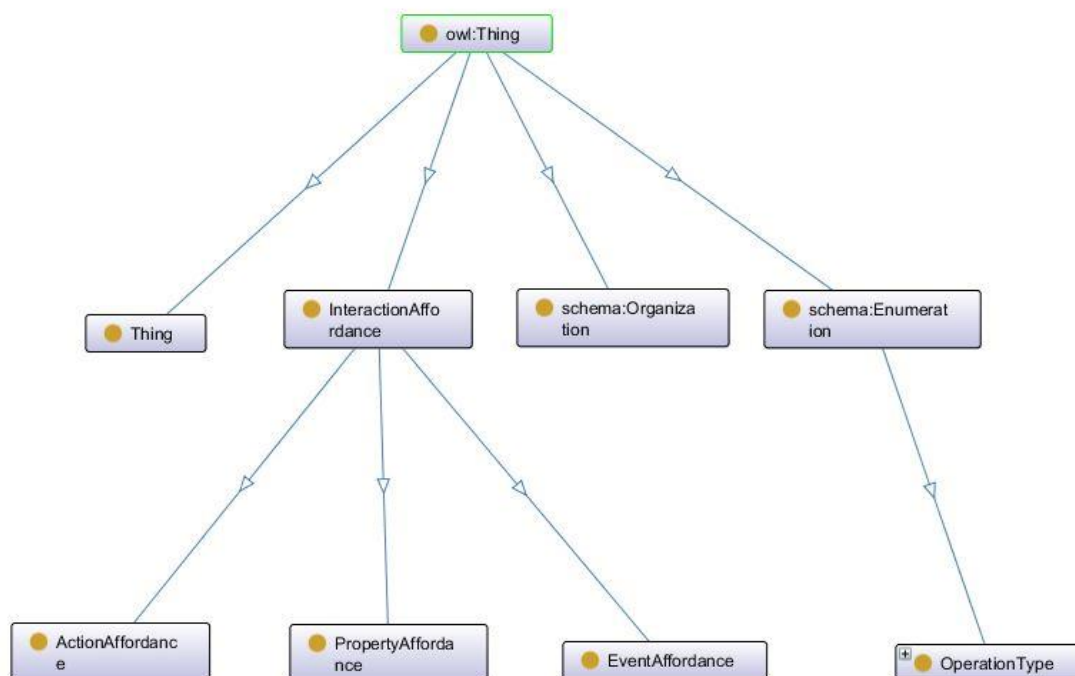
Κάθε ένα από αυτά τα λεξιλόγια είναι μια συλλογή όρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία δομών δεδομένων, οι οποίες νοούνται ως αντικείμενα με την παραδοσιακή αντικειμενοστραφή έννοια. Τα αντικείμενα είναι στιγμιότυπα κλάσης και έχουν ιδιότητες. Στην περίπτωση του *WoT* παρέχουν πληροφορίες για τα πράγματα (Things) και για τις δυνατότητες αλληλεπίδρασής τους [22].



Εικόνα 7.4. *Hypermedia controls vocabulary* [22].

7.2 Thing Description Ontology

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η οντολογία Thing Description [44] η οποία είναι υπό ανάπτυξη με τελευταία ενημέρωση στις 10/08/2022. Περιλαμβάνει την ιεραρχία των κλάσεων, τις ίδιες τις κλάσεις (Classes), καθώς και τις ιδιότητες αντικειμένων (Object Properties) και δεδομένων (Data Properties) που τις συνδέουν. Η οντολογία Thing Description είναι μια ενσωμάτωση RDF του μοντέλου πληροφοριών TD, το οποίο είναι ένα από τα δομικά στοιχεία του Web of Things (WoT). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών σχετικά με πράγματα (Things) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ευθυγράμμιση εγγράφων TD με τις οντολογίες που σχετίζονται με το WoT. Τέλος αποτελεί μια εναλλακτική μορφή αναπαράστασης εγγραφών TD από αυτή του JSON. Οι βασικές έννοιες που απαρτίζουν την οντολογία με κλάσεις σε ανώτερο επίπεδο είναι: το Πράγμα (Thing), η Αλληλεπίδραση (InteractionAffordance), η Ενέργεια (ActionAffordance), το Συμβάν (EventAffordance) και η Ιδιότητα (PropertyAffordance). Κάθε μία από τις κλάσεις περιγράφεται στην επόμενη υποενότητα μαζί με τις ιδιότητες καθώς και τις συνδέσεις που έχουν με προϋπάρχουσες κλάσεις άλλων υπάρχουσων οντολογιών. Στην εικόνα 7.5 παρουσιάζεται η ιεραρχία των κλάσεων της οντολογίας Things Description.



Εικόνα 7.5. Ιεραρχία κλάσεων της οντολογίας Things Description.

7.2.1 Κλάσεις (Classes)

7.2.1.1 Πράγμα (Thing)

Περιγράφει μια φυσική ή εικονική οντότητα(πράγμα) της οποίας τα μεταδεδομένα και οι διεπαφές περιγράφονται από μια περιγραφή WoT Thing Description. Μια τέτοια οντότητα μπορεί να είναι ένα πράγμα ή σύνθεση περισσότερων πραγμάτων (Things).

7.2.1.2 Αλληλεπίδραση (InteractionAffordance)

Περιγράφει τον τρόπο αλληλεπίδρασης με ένα πράγμα. Το WoT προσφέρει τρεις τύπους αλληλεπίδρασης: Ιδιότητες (PropertyAffordance), Ενέργειες (ActionAffordance) και Συμβάντα (EventAffordance).

7.2.1.3 Ενέργεια (ActionAffordance)

Η κλάση ActionAffordance είναι υποκλάση της InteractionAffordance και περιγράφει την δυνατότητα μια οντότητας για αλληλεπίδραση με την κλήση μιας συνάρτησης του πράγματος, η οποία χειρίζεται την κατάσταση (π.χ. ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση ενός λαμπτήρα) ή ενεργοποιεί μια διαδικασία στο πράγμα (π.χ. χαμηλώνει την φωτεινότητα ενός λαμπτήρα με την πάροδο του χρόνου). Σε ένα έξυπνο αυτοκίνητο μια ενέργεια θα μπορούσε να είναι η ενεργοποίηση του ραδιοφώνου ενώ σε ένα έξυπνο σπίτι η ενεργοποίηση / απενεργοποίηση του φωτισμού ή του κλιματισμού.

7.2.1.4 Συμβάν (EventAffordance)

Η κλάση EventAffordance είναι υποκλάση της InteractionAffordance και περιγράφει ένα συμβάν, το οποίο έχει την δυνατότητα να ωθεί ασύγχρονα δεδομένα συμβάντων στους καταναλωτές. Σε ένα έξυπνο σπίτι ένα συμβάν θα μπορούσε να είναι η ειδοποίηση υπερθέρμανσης ενός πράγματος, ενός λαμπτήρα.

7.2.1.5 Ιδιότητα (PropertyAffordance)

Η κλάση PropertyAffordance είναι υποκλάση της InteractionAffordance. Περιγράφει ένα τύπο αλληλεπίδρασης που εκθέτει την κατάσταση του πράγματος. Αυτή η κατάσταση μπορεί στη συνέχεια να ανακτηθεί (ανάγνωση) ή/και να ενημερωθεί (εγγραφή). Τα πράγματα (Things) έχουν την δυνατότητα να ορίσουν αν μια ιδιότητα της θα είναι ορατή μετά από μια αλλαγή κατάστασης. Μια ιδιότητα σε ένα έξυπνο σπίτι θα μπορούσε να είναι η θερμοκρασία του κλιματισμού.

7.2.1.6 *OperationType*

Περιλαμβάνει μια σειρά τυπικών λειτουργιών που είναι απαραίτητοι για την εφαρμογή του μοντέλου αλληλεπίδρασης WoT.

7.2.2 *Ιδιότητες Αντικειμένων (Object Properties)*

Στην OWL οι ιδιότητες αντιπροσωπεύουν σχέσεις. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ιδιοτήτων, οι ιδιότητες αντικειμένου (Object properties), οι ιδιότητες δεδομένων (Data properties) και οι ιδιότητες σχολιασμού (Annotation properties). Οι ιδιότητες αντικειμένων είναι σχέσεις μεταξύ δύο ατόμων [1]. Η οντολογία Things Description έχει της παρακάτω ιδιότητες αντικειμένων:

- **definesSecurityScheme**
Ένα πράγμα μπορεί να ορίζει ένα σύστημα ασφαλείας, με σκοπό την διαμόρφωση της ασφαλούς πρόσβασης σε ένα σύνολο από προσφερόμενες δυνατότητες αλληλεπίδρασης.
- **hasActionAffordance**
Αναφέρεται στις δυνατότητες αλληλεπίδρασης της πράγματος.
- **hasCancellationSchema**
Καθορίζει τυχόν δεδομένα που πρέπει να διαβιβαστούν για να ακυρωθεί μια ενέργεια,
- **hasConfigurationInstance**
Καθορίζει αν υπάρχει δήλωση διαμόρφωσης.
- **hasEventAffordance**
Αναφέρεται στην δυνατότητα αλληλεπίδρασης του πράγματος η οποία βασίζεται σε ένα συμβάν.
- **hasForm**
Αποτελείται από ένα σύνολο form hypermedia controls που περιγράφουν πώς μπορεί να εκτελεστεί μια λειτουργία.
- **hasInputSchema**
Η ιδιότητα hasInputSchema καθορίζει τα δεδομένων εισόδου μιας ενέργειας.
- **hasInteractionAffordance**
Περιγράφει την δυνατότητα αλληλεπιδράσεων της πράγματος.
- **hasLink**
Παρέχει συνδέσμους σε πόρους που σχετίζονται με την καθορισμένη περιγραφή του πράγματος.
- **hasNotificationResponseSchema**

Καθορίζει το σχήμα δεδομένων των μηνυμάτων απόκρισης συμβάντων που αποστέλλονται από τον καταναλωτή ως απάντηση σε ένα μήνυμα δεδομένων.

- **hasNotificationSchema**

Καθορίζει το σχήμα δεδομένων των μηνυμάτων παρουσίας συμβάντος που προωθούνται από το Thing.

- **hasOutputSchema**

Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του σχήματος δεδομένων εξόδου της ενέργειας.

- **hasPropertyAffordance**

Αναφέρεται στις δυνατότητες αλληλεπίδρασης που βασίζονται στις ιδιότητες του πράγματος.

- **hasSecurityConfiguration**

Μια διαμόρφωση ασφαλείας είναι ένα σχήμα ασφαλείας που εφαρμόζεται σε ένα σύνολο προσφορών.

- **hasSubscriptionSchema**

Καθορίζει δεδομένα που πρέπει να διαβιβαστούν κατά τη συνδρομή, π.χ. φίλτρα ή μορφή μηνύματος για τη ρύθμιση των Webhooks.

- **hasUriTemplateSchema**

Ορίζει τις μεταβλητές URI ως συλλογή με βάση της προδιαγραφές σχήματος.

7.2.3 *Ιδιότητες Δεδομένων (Data Properties)*

Οι ιδιότητες δεδομένων αναφέρονται σε συγκεκριμένες ιδιότητες που μπορεί να έχει κάθε κλάση και εκφράζονται με τη πρωτογενών τύπων δεδομένων όπως string, int, float, κ.λπ.

- **Description**

Περιγραφή του στοιχείου TD (Πράγμα, δυνατότητα αλληλεπίδρασης, σχήμα ασφαλείας ή σχήμα δεδομένων)

- **DescriptionInLanguage**

Περιγραφή του στοιχείου TD με ετικέτα γλώσσας.

- **IsIdempotent**

Υποδεικνύει εάν η ενέργεια είναι ανίκανη (= αληθής) ή όχι. Ενημερώνει εάν η ενέργεια μπορεί να κληθεί επανειλημμένα με το ίδιο αποτέλεσμα, εάν υπάρχει, με βάση την ίδια είσοδο.

- **IsObservable**

Μια υπόδειξη που υποδεικνύει εάν οι υπηρεσίες που φιλοξενούν το πράγμα και οι διαμεσολαβητές θα πρέπει να παρέχουν μια δέσμευση πρωτοκόλλου που να υποστηρίζει της λειτουργίες observeproperty και της unobserveproperty λειτουργίες της της ιδιότητας.

- **IsSafe**
Σηματοδοτεί εάν η ενέργεια είναι ασφαλής (=αληθής) ή όχι. Χρησιμοποιείται για να σηματοδοτήσει εάν δεν υπάρχει εσωτερική κατάσταση αλλάζει κατά την επίκληση μιας ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση, οι απαντήσεις μπορούν να αποθηκευτούν στην κρυφή μνήμη ως παράδειγμα.
- **IsSynchronous**
Υποδεικνύει εάν η ενέργεια είναι σύγχρονη (=αληθής) ή όχι. Μια σύγχρονη ενέργεια σημαίνει ότι η απόκριση της ενέργειας περιέχει της της πληροφορίες σχετικά με το αποτέλεσμα της ενέργειας και δεν απαιτείται περαιτέρω ερώτημα σχετικά με την κατάσταση της ενέργειας. Η έλλειψη της λέξης-κλειδιού σημαίνει ότι δεν μπορεί να γίνει αξίωση για τον συγχρονισμό της ενέργειας.
- **Name**
Ευρετηρίαση ιδιοτήτων για την αποθήκευση ονομάτων οντοτήτων.
- **Title**
Τίτλος του στοιχείου TD
- **TitleInLanguage**
Τίτλος του στοιχείου TD με ετικέτα γλώσσας.

8

Εφαρμογή της Οντολογίας Thing Description

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της οντολογίας Thing Description. Η εφαρμογή της οντολογίας Thing Description σε αυτή την διπλωματική εργασία δημιούργησε την ανάγκη επέκτασής της η οποία οδήγησε σε μια νέα οντολογία η οποία ονομάστηκε WEBIOT Ontology.

8.1 Οντολογία WEBIOT

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η οντολογία WEBIOT η οποία βασίζεται την οντολογία Thing Description. Αποτελεί επέκταση της και εξειδικεύεται στην περιγραφή ενός συστήματος φωτισμού το οποίο αποτελείται από διαφορετικά είδη λαμπτήρων. Περιλαμβάνει την ιεραρχία των κλάσεων, τις ίδιες τις κλάσεις (Classes), καθώς και τις ιδιότητες αντικειμένων (Object Properties) και δεδομένων (Data Properties) που τις συνδέουν. Η οντολογία WEBIOT είναι μια ενσωμάτωση RDF του μοντέλου πληροφοριών TD, το οποίο είναι ένα από τα δομικά στοιχεία του Web of Things (WoT). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών σχετικά με πράγματα (Things), όπως και η οντολογία Thing Description, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ευθυγράμμιση εγγράφων TD με τις οντολογίες που σχετίζονται με το WoT.

Οι βασικές έννοιες που απαρτίζουν την οντολογία με κλάσεις σε ανώτερο επίπεδο είναι οι κλάσεις της οντολογίας Thing Description: το Πράγμα (Thing), η Αλληλεπίδραση (InteractionAffordance), η Ενέργεια (ActionAffordance), το Συμβάν (EventAffordance) και η Ιδιότητα (PropertyAffordance). Επιπλέον η οντολογία WEBIOT ενσωματώνει και την οντολογία hypermedia controls.

Σε αυτήν την ενότητα δε αναλύονται οι βασικές έννοιες της οντολογίας Thing Description καθώς έχει γίνει λεπτομερή ανάλυση σε προηγούμενο κεφάλαιο αλλά εστιάζεται στην περιγραφή των εννοιών οι οποίες εξειδικεύονται στην περιγραφή και χρήση διαφόρων ειδών

λαμπτήρων μαζί με τις ιδιότητες τους, τις συνδέσεις που έχουν με προϋπάρχουσες κλάσεις άλλων οντολογιών καθώς και τα στιγμιότυπα (instances) των κλάσεων τους.

8.1.1 Lamp

Η βασικότερη έννοια που περιγράφεται σε αυτήν την οντολογία είναι ο “Λαμπτήρας” ο οποίος περιγράφεται από την κλάση Lamp. Η κλάση Lamp είναι υποκλάση της Thing της οντολογίας Thing Description. Περιγράφει μια φυσική ή εικονική οντότητα (πράγμα) της οποίας τα μεταδεδομένα και οι διεπαφές περιγράφονται από μια περιγραφή WoT Thing Description και εξειδικεύεται στους διάφορους τύπους λαμπτήρων που υπάρχουν στην αγορά: απλούς λαμπτήρες με λειτουργία on / off, λαμπτήρες με λειτουργία toggle (on ή off), λαμπτήρες με μεταβαλλόμενη φωτεινότητα και λαμπτήρες με δυνατότητα αλλαγής χρώματος.

8.1.2 Ιδιότητες Δεδομένων (Data Properties)

Οι ιδιότητες δεδομένων αναφέρονται σε συγκεκριμένες ιδιότητες που μπορεί να έχει κάθε κλάση. Εκφράζονται μέσω τύπων δεδομένων όπως string, int, float, κ.λπ. Οι νέες ιδιότητες δεδομένων που εισάγονται στην οντολογία μα είναι:

- imageUrl
Περιγράφει την διεύθυνση της φωτογραφίας ενός πράγματος και είναι τύπου xsd:anyUri.
- physicalUrl
Περιγράφει την φυσική διεύθυνση ενός πράγματος και είναι τύπου xsd:anyUri.
- hexValue
Περιγράφει την κωδικό hex χρώματος ενός πράγματος και είναι τύπου xsd:string.

8.1.3 Στιγμιότυπα (instances)

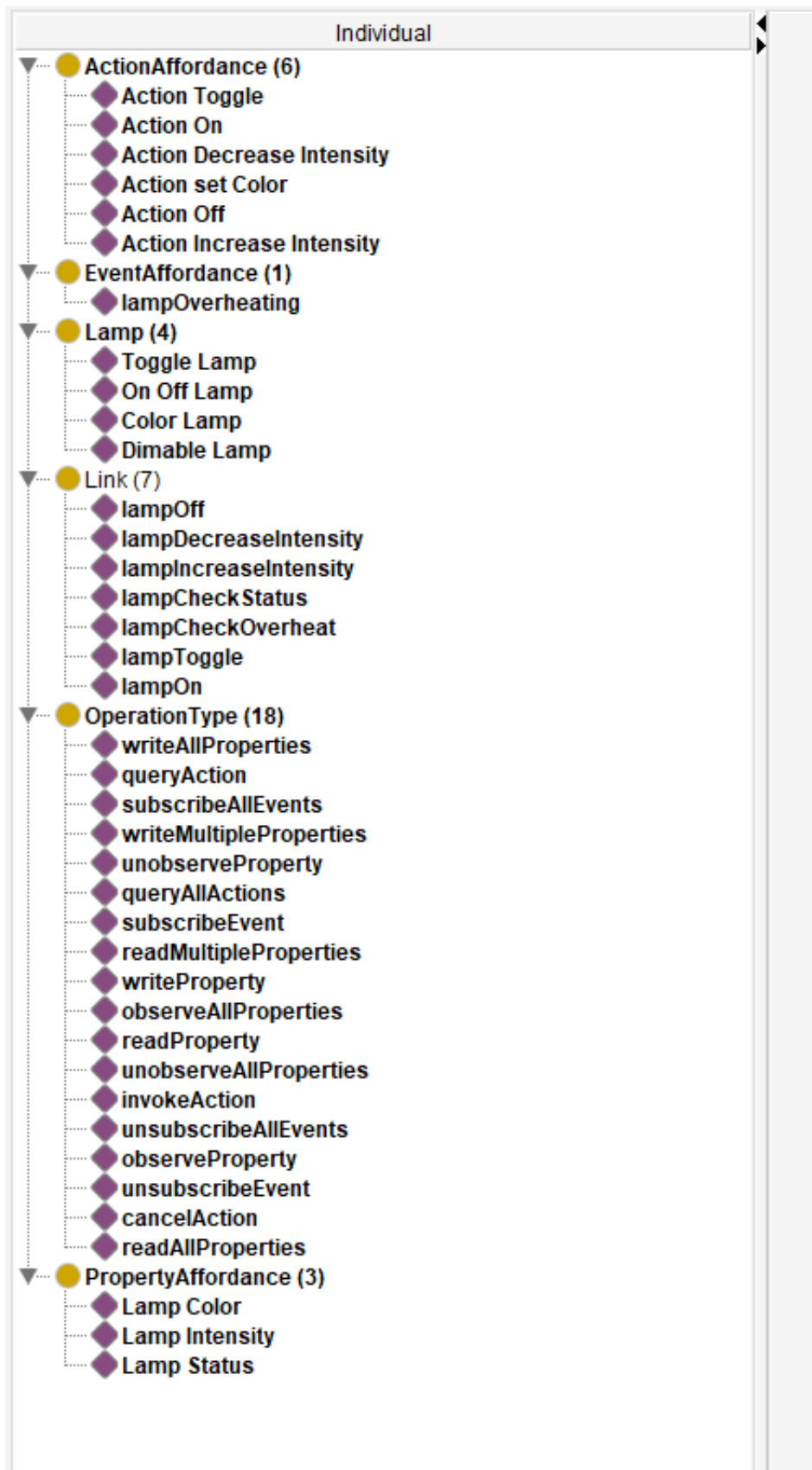
Τα μέλη μίας κλάσης ονομάζονται στιγμιότυπα (instances). Για τις ανάγκες της οντολογίας δημιουργήθηκαν τα παρακάτω στιγμιότυπα:

- Color Lamp
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης Lamp. Περιγράφει ένα φυσικό ή εικονικό λαμπτήρα με δυνατότητα επιλογής χρώματος.
- Dimable Lamp
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης Lamp. Περιγράφει ένα φυσικό ή εικονικό λαμπτήρα με δυνατότητα αυξομείωσης της φωτεινότητας.
- On Off Lamp

Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης Lamp. Περιγράφει ένα φυσικό ή εικονικό λαμπτήρα με δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης του, άνοιγμα – κλείσιμο.

- **Toggle Lamp**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης Lamp. Περιγράφει ένα φυσικό ή εικονικό λαμπτήρα με δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης του τύπου toggle (αλλαγή κατάστασης true / false).
- **Action Decrease Intensity**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης ActionAffordance. Περιγράφει μια ενέργεια που επιτρέπει την κλήση μια μεθόδου ενός στιγμιότυπου τύπου Lamp η οποία μειώνει την φωτεινότητα του λαμπτήρα.
- **Action Increase Intensity**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης ActionAffordance. Περιγράφει μια ενέργεια που επιτρέπει την κλήση μια μεθόδου ενός στιγμιότυπου τύπου Lamp η οποία αυξάνει την φωτεινότητα του λαμπτήρα.
- **Action On**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης ActionAffordance. Περιγράφει μια ενέργεια που επιτρέπει την κλήση μια μεθόδου ενός στιγμιότυπου τύπου Lamp η οποία ανάβει έναν λαμπτήρα.
- **Action Off**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης ActionAffordance. Περιγράφει μια ενέργεια που επιτρέπει την κλήση μια μεθόδου ενός στιγμιότυπου τύπου Lamp η οποία σβήνει έναν λαμπτήρα.
- **Action Toggle**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης ActionAffordance. Περιγράφει μια ενέργεια που επιτρέπει την κλήση μια μεθόδου ενός στιγμιότυπου τύπου Lamp η οποία αλλάζει την κατάσταση ενός λαμπτήρα από on σε off ή off σε on.
- **Action set Color**
Είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης ActionAffordance. Περιγράφει μια ενέργεια που επιτρέπει την κλήση μια μεθόδου ενός στιγμιότυπου τύπου Lamp η οποία αλλάζει το χρώμα ενός λαμπτήρα με την χρήση χρώματος κωδικού HEX.

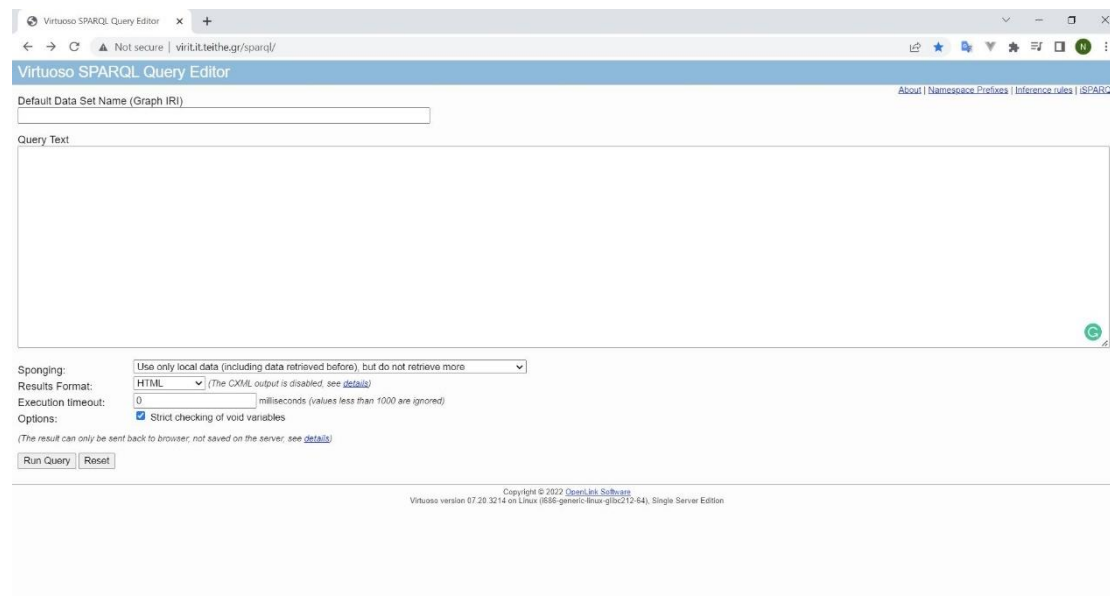
Στην εικόνα 8.1 παρουσιάζονται όλα τα στιγμιότυπα της οντολογίας WEBIOT ανά κλάση.



Εικόνα 8.1. Στιγμιότυπα της οντολογίας WEBIOT ανά κλάση.

8.2 Σενάρια χρήσης της οντολογίας WEBIOT

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά τα σενάρια χρήσης που δημιουργήθηκαν για την αξιολόγηση της οντολογίας. Για τις ανάγκες των σεναρίων χρήσης δημιουργήθηκαν τα ανάλογα SPARQL ερωτήματα. Η οντολογία έχει δημοσιευθεί στην διεύθυνση <http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl> και έγινε χρήση του SPARQL endpoint (εικόνα 8.2) του Διεθνούς Πανεπιστήμιου Ελλάδος στην διεύθυνση <http://virit.it.teithe.gr/sparql/>.



Εικόνα 8.2. SPARQL endpoint.

8.2.1 Σενάριο χρήσης 1

Ο χρήστης θέλει να μάθει πληροφορίες για την οντολογία, τις κλάσεις και υποκλάσεις με τα αντίστοιχα σχόλια όπου υπάρχουν.

Ερώτημα SPARQL:

```
PREFIX webiot:<http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#>

SELECT ?class ?classcomment ?subclass ?subclasscomment
FROM <http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl>
WHERE {
  ?subclass rdfs:subClassOf ?class.
  OPTIONAL
  {
    ?subclass rdfs:comment ?subclasscomment.
  }
  OPTIONAL
  {
    ?class rdfs:comment ?classcomment.
  }
}
```

```

}
}
ORDER BY ?subclass

```

Αποτέλεσμα:

class	classcomment	subclass	subclasscomment
https://www.w3.org/2019/wot/td#Thing	"An abstraction of a physical or a virtual entity whose metadata and interfaces are described by a WoT Thing Description, whereas a virtual entity is the composition of one or more Things."@en	http://sw.ietf.org/iot/webiot#Lamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp whose metadata and interfaces are described by a WoT Thing Description."@en
https://www.w3.org/2019/wot/td#InteractionAffordance	"Metadata of a Thing that shows the possible choices to Consumers, thereby suggesting how Consumers may interact with the Thing. There are many types of potential affordances, but W3C WoT defines three types of Interaction Affordances: Properties, Actions, and Events."@en	https://www.w3.org/2019/wot/td#ActionAffordance	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Thing, which manipulates state (e.g., toggling a lamp on or off) or triggers a process on the Thing (e.g., dim a lamp over time)."@en
https://www.w3.org/2019/wot/td#InteractionAffordance	"Metadata of a Thing that shows the possible choices to Consumers, thereby suggesting how Consumers may interact with the Thing. There are many types of potential affordances, but W3C WoT defines three types of Interaction Affordances: Properties, Actions, and Events."@en	https://www.w3.org/2019/wot/td#EventAffordance	"An Interaction Affordance that describes an event source, which asynchronously pushes event data to Consumers (e.g., overheating alerts)."@en
http://schema.org/Enumeration		https://www.w3.org/2019/wot/td#OperationType	"Enumeration of well-known operation types necessary to implement the WoT interaction model"@en
https://www.w3.org/2019/wot/td#InteractionAffordance	"Metadata of a Thing that shows the possible choices to Consumers, thereby suggesting how Consumers may interact with the Thing. There are many types of potential affordances, but W3C WoT defines three types of Interaction Affordances: Properties, Actions, and Events."@en	https://www.w3.org/2019/wot/td#PropertyAffordance	"An Interaction Affordance that exposes state of the Thing. This state can then be retrieved (read) and/or updated (write). Things can also choose to make Properties observable by pushing the new state after a change."@en

8.2.2 Σενάριο χρήσης 2

Ο χρήστης θέλει να μάθει πληροφορίες για την κλάσεις Lamp με τα αντίστοιχα σχόλια όπου υπάρχουν.

Ερώτημα SPARQL:

```

PREFIX webiot:<http://sw.ietf.org/iot/webiot#>

SELECT ?predicate ?object

```

```
FROM <http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl>
WHERE {
# a given class (i.e. "Lamp") is mapped in the name space "webiot"
webiot:Lamp    ?predicate ?object
}

```

Αποτέλεσμα:

predicate	object
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://www.w3.org/2002/07/owl#Class
http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label	"Lamp"@en
http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#comment	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp whose metadata and interfaces are described by a WoT Thing Description."@en
http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#subClassOf	https://www.w3.org/2019/wot/td#Thing
http://www.w3.org/2007/05/powder-s#describedby	http://virit.it.teithe.gr/about/id/entity/http/sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl

8.2.3 Σενάριο χρήσης 3

Ο χρήστης θέλει να μάθει πληροφορίες για την κλάσεις Lamp με τα αντίστοιχα σχόλια όπου υπάρχουν.

Ερώτημα SPARQL:

```
PREFIX webiot:<http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#>

SELECT    ?Named_Individuals ?Comment
FROM <http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl>
WHERE {

?Named_Individuals rdf:type owl:NamedIndividual.
?Named_Individuals rdf:type webiot:Lamp.

OPTIONAL
{
    ?Named_Individuals rdfs:comment ?Comment .
}
}

```

Αποτέλεσμα:

Named_Individuals	Comment
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#ColorLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with set Color functionality"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#OnOffLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with On Off functionality"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#DimableLamp	"An abstraction of a physical or a virtual dimable Lamp"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#ToggleLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with Toggle functionality"@en

8.2.4 Σενάριο χρήσης 4

Ο χρήστης θέλει να μάθει πληροφορίες για το στιγμιότυπο OnOffLamp της κλάσης Lamp με τα αντίστοιχα σχόλια όπου υπάρχουν.

Ερώτημα SPARQL:

```
PREFIX webiot:<http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>

SELECT ?ActionAffordance ?Comment
FROM <http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl>
WHERE {

webiot:OnOffLamp td:hasActionAffordance ?ActionAffordance

OPTIONAL
{
?ActionAffordance rdfs:comment ?Comment .
}
}
```

Αποτέλεσμα:

predicate	object
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://www.w3.org/2002/07/owl#NamedIndividual
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#Lamp
http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label	"On Off Lamp"@en
http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#comment	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with On Off functionality"@en
http://www.w3.org/2007/05/powder-s#describedby	http://virit.it.teithe.gr/about/id/entity/http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl
https://www.w3.org/2019/wot/td#hasActionAffordance	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionOff
https://www.w3.org/2019/wot/td#hasActionAffordance	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionOn
https://www.w3.org/2019/wot/td#hasEventAffordance	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampOverheating
https://www.w3.org/2019/wot/td#hasPropertyAffordance	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampStatus
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#imageURL	"/images/onofflamp.svg"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI>
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#physicalURL	"https://141.237.237.47/"^^<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#anyURI>

8.2.5 Σενάριο χρήσης 5

Ο χρήστης θέλει να μάθει πληροφορίες για το όλα τα στιγμιότυπα της κλάσης Lamp μαζί με τις Ενέργειες (ActionAffordance) και με τα αντίστοιχα σχόλια όπου υπάρχουν.

Ερώτημα SPARQL:

```
PREFIX webiot:<http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>

SELECT ?Named_Individuals ?Comment ?ActionAffordance
?ActionAffordanceComment
FROM <http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl>
WHERE {
```

```

?Named_Individuals rdf:type owl:NamedIndividual.
?Named_Individuals rdf:type webiot:Lamp.

OPTIONAL
{
    ?Named_Individuals rdfs:comment ?Comment .
}

?Named_Individuals td:hasActionAffordance ?ActionAffordance.

OPTIONAL
{
    ?ActionAffordance rdfs:comment ?ActionAffordanceComment .
}

```

Αποτέλεσμα:

Named_Individuals	Comment	ActionAffordance	ActionAffordanceComment
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#ColorLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with set Color functionality"@en	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionSetColor	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to set color"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#OnOffLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with On Off functionality"@en	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionOff	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Off"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#OnOffLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with On Off functionality"@en	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionOn	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to On"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#DimableLamp	"An abstraction of a physical or a virtual dimable Lamp"@en	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionDecreaseIntensity	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Decrease Intensity"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#DimableLamp	"An abstraction of a physical or a virtual dimable Lamp"@en	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionIncreaseIntensity	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Increase Intensity"@en
http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#ToggleLamp	"An abstraction of a physical or a virtual Lamp with Toggle functionality"@en	http://sw.iew.ihu.gr/IoT/webiot#lampActionToggle	"An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Toggle on or off"@en

9

Web εφαρμογή

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η ανάπτυξη της εφαρμογής που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας με όλες τις τεχνικές λεπτομέρειες και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν. Σκοπός της εφαρμογής είναι η προσομοίωση χρήσης της οντολογίας WEBIOT η οποία βασίζεται την οντολογία Thing Description.

Αρχικά περιγράφονται οι λειτουργικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται στην εφαρμογή. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα εργαλεία και οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίησή της. Τέλος περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας κάθε δομικού στοιχείου και ο τρόπος που αυτό επικοινωνεί με τα υπόλοιπα.

9.1 Λειτουργικές απαιτήσεις

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής καθορίστηκαν οι παρακάτω λειτουργικές απαιτήσεις. Η εφαρμογή πρέπει:

- να είναι διαθέσιμη στο web.
- να προσαρμόζεται ανάλογα με την συσκευή (responsive).
- να χρησιμοποιεί τεχνολογίες ανεξάρτητες από κάποιο συγκεκριμένο λειτουργικό σύστημα.
- να χρησιμοποιεί τεχνολογίες Σηματολογικού Ιστού.
- να προσομοιάζει ένα σύστημα φωτισμού το οποίο αποτελείται από διαφορετικούς τύπους λαμπτήρων.
- να δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με όλους τους λαμπτήρες του συστήματος φωτισμού.
- να επικοινωνεί με ένα εξυπηρετητή στον οποίο βρίσκεται το τοπικό triple store (με το αντίστοιχο SPARQL endpoint) και να αποστέλλει σε αυτόν ερωτήματα μέσω αιτημάτων HTTP.

- να εμφανίζει των κώδικα των ερωτημάτων SPARQL που παράγονται για την προβολή των στιγμιοτύπων της οντολογίας με τα χαρακτηριστικά τους.
- με την χρήση καταλλήλων SPARQL ερωτημάτων να εντοπίζει τα στιγμιότυπα της οντολογίας, να παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά και ιδιότητες τους.
- να έχει την δυνατότητα να εντοπίζει νέα πράγματα του Διαδικτύου των Πράγματος που συνδέονται στο δίκτυο μας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση νέους λαμπτήρες στο σύστημα φωτισμού.

9.2 Τεχνικές λεπτομέρειες

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού PHP γιατί είναι μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού για την ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών και η βιβλιοθήκη EasyRdf. Η EasyRdf είναι μια βιβλιοθήκη PHP που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την διαχείριση και παραγωγή RDF. Η εφαρμογή κάνει χρήση της οντολογίας WEBIOT η οποία έχει δημοσιευθεί στην διεύθυνση <http://sw.iee.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl>.

Για τις ανάγκες εφαρμογής δημιουργήθηκαν SPARQL ερωτήματα και έγινε χρήση του SPARQL endpoint του Διεθνούς Πανεπιστήμιου Ελλάδος στην διεύθυνση <http://virit.it.teithe.gr/sparql/>. Η εφαρμογή κάνει χρήση της HTML5, CSS3 και της βιβλιοθήκης Bootstrap.

9.3 Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία

9.3.1 Protégé

Το Protégé¹ είναι ένας από τους πιο εξελιγμένους συντάκτες οντολογιών και βάσεων γνώσεων (knowledge bases) που είναι σήμερα διαθέσιμες. Η ανάπτυξή του πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο Stanford και Manchester, αλλά ένας μεγάλος αριθμός τμημάτων με τη μορφή plugins, modules αναπτύχθηκε από ανεξάρτητους προγραμματιστές. Το Protégé υποστηρίζει τη δημιουργία, επεξεργασία και εξαγωγή οντολογιών και βάσεων γνώσεων σε όλες τις βασικές μορφές (RDF, RDFS, OWL, κ.λπ.). Ένα εξαιρετικά πολύπλοκο περιβάλλον εργασίας χρήστη της εφαρμογής χωρίζεται σε διάφορες καρτέλες που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές προβολές των εμφανιζόμενων δεδομένων.[25]

¹ <https://protege.stanford.edu/>

9.3.2 *Easy RDF*

Η EasyRdf είναι μια βιβλιοθήκη PHP που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την διαχείριση και παραγωγή RDF. Σχεδιάστηκε για χρήση σε μικτές ομάδες έμπειρων και άπειρων προγραμματιστών RDF. Είναι γραμμένη σε Object Oriented PHP. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, η EasyRdf δημιουργεί ένα γράφημα αντικειμένων PHP που μπορούν στη συνέχεια να περιηγηθούν για να λάβουν τα δεδομένα που θα τοποθετηθούν στη σελίδα. Τα δεδομένα συνήθως φορτώνονται σε ένα αντικείμενο EasyRdf_Graph από έγγραφα προέλευσης RDF. Το έγγραφο προέλευσης θα μπορούσε είτε να είναι ένα αρχείο RDF στον ιστό είτε η έξοδος ενός ερωτήματος Construct ή Describe SPARQL από ένα triplestore. Μετά την ανάλυση, η EasyRdf δημιουργεί ένα γράφημα αντικειμένων PHP που μπορούν στη συνέχεια να περιηγηθούν για να ληφθούν τα δεδομένα που θα τοποθετηθούν στη σελίδα. Διατίθενται μέθοδοι απόρριψης για την επιθεώρηση των διαθέσιμων δεδομένων κατά την ανάπτυξη. Τα δεδομένα συνήθως φορτώνονται σε ένα αντικείμενο EasyRdf\Graph από έγγραφα πηγής RDF, που φορτώνονται από τον Ιστό μέσω HTTP. Η κλάση EasyRdf\GraphStore απλοποιεί τη φόρτωση και την αποθήκευση δεδομένων σε ένα SPARQL Graph Store. Τα ερωτήματα SPARQL μπορούν να γίνουν μέσω HTTP σε ένα Triplestore χρησιμοποιώντας την κλάση EasyRdf\Sparql\Client. Τα ερωτήματα SELECT και ASK θα επιστρέψουν ένα αντικείμενο EasyRdf\Sparql\Result και τα ερωτήματα CONSTRUCT and DESCRIBE θα επιστρέψουν ένα αντικείμενο EasyRdf\Graph [26, 27, 28].

9.3.3 *Virtuoso (Openlink) Universal Server*

Ο Virtuoso Universal Server είναι ένας τύπος ενδιάμεσου λογισμικού που συνδυάζει τις λειτουργίες μίας παραδοσιακής βάσης δεδομένων (RDBMS), μιας αντικειμενοσχεσιακής βάσης δεδομένων (ORDBMS) και μιας εικονικής βάσης δεδομένων. Το Virtuoso συνδυάζει έναν αριθμό διαφορετικών διακομιστών σε ένα σύστημα, ενός διακομιστή RDF, ενός διακομιστή XML και ενός διακομιστή εφαρμογών Ιστού. Αντί για να έχουμε διαφορετικούς εξυπηρετητές, απ' τους οποίους ο καθένας θα είναι αφιερωμένος στο να πραγματοποιεί μια από τις παραπάνω λειτουργίες, ο Virtuoso παίζει το ρόλο ενός "Universal Server" υλοποιώντας πολλά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Η open source έκδοση του είναι γνωστή ως OpenLink Virtuoso. Χάρη στο Virtuoso SPARQL endpoint, έχουμε την δυνατότητα να εκτελέσουμε ερωτήματα SPARQL σε οποιοδήποτε γράφο που βρίσκεται στο Virtuoso. Με τον όρο γράφο αναφερόμαστε σε σημασιολογικό γράφο, ο οποίος αποτελεί ένα δίκτυο κόμβων, που αναπαριστά σημασιολογικές σχέσεις μεταξύ εννοιών και απαρτίζεται από ένα σύνολο τριάδων RDF. Με άλλα λόγια, ο Virtuoso χρησιμοποιείται για την αποθήκευση σημασιολογικής πληροφορίας, η οποία φιλοξενείται στο γράφο σε μορφή τριπλετών [29, 30]. Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας έγινε χρήση της έκδοσης OpenLink 7.0 Virtuoso Universal Server του

Διεθνούς Πανεπιστήμιου Ελλάδος και πιο συγκεκριμένα το SPARQL endpoint στην διεύθυνση <http://virit.it.teithe.gr/sparql/>.

9.3.4 HTML 5

Η HTML, ή Hyper-Text Markup Language, είναι αυτό που δημιουργεί τη βασική δομή του Παγκόσμιου Ιστού. Η HTML αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1989 από τον Tim Berners-Lee, τον ευρέως αναγνωρισμένο εφευρέτη του διαδικτύου. Δημιούργησε την HTML για να δώσει τη δυνατότητα σε ερευνητές σε γεωγραφικά απομακρυσμένα ιδρύματα να συνεργάζονται και να ανταλλάσσουν μεγάλο όγκο δεδομένων ηλεκτρονικά. Ο Tim Berners-Lee βάσισε τη νέα του γλώσσα σε μια ήδη υπάρχουσα γλώσσα με την ονομασία SGML ή Standard Generalized Mark-up Language. Δανείστηκε πολλές από τις βασικές έννοιες και ετικέτες διαρρύθμισης στην HTML απευθείας από την SGML, συμπεριλαμβανομένων τίτλων, παραγράφων, επικεφαλίδων, λιστών και πολλών άλλων. Η σημαντικότερη επίτευξή του ήταν η ανάπτυξη συνδέσμων υπερκειμένου στην HTML, Αυτές οι συνδέσεις υπερκειμένου επιτρέπουν στην HTML να συνδεθεί γρήγορα με έγγραφα αποθηκευμένα οπουδήποτε στο διαδίκτυο. Υπήρχαν αρκετές πρώτες εκδόσεις της HTML. Το αρχικό σχέδιο του Tim Berners-Lee ονομαζόταν απλώς HTML, HTML 2.0, HTML+ και HTML 3.0. Μολονότι οι εκδόσεις αυτές υιοθετήθηκαν ευρέως και χρησιμοποιήθηκαν σε ολόκληρο τον κλάδο, δεν κωδικοποιήθηκαν ποτέ επίσημα ως πρότυπα. Το πρώτο πραγματικό πρότυπο για την HTML δημοσιεύθηκε από την W3C το 1998. Το πρότυπο αυτό, που ονομάζεται HTML 4, πρόσθεσε πολλά νέα χαρακτηριστικά, όπως φύλλα στυλ, πλαίσια, ενσωματωμένα αντικείμενα, σύνθετες μορφές και εργαλεία προσβασιμότητας σελίδων. Η HTML5 είναι η πιο πρόσφατη αναθεώρηση του προτύπου HTML που αναπτύχθηκε από την W3C και με την σειρά του τονό αυτό πρότυπο προσθέτει αρκετά νέα χαρακτηριστικά και δυνατότητες στην HTML[31, 33]. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιείται η έκδοση HTML5.

9.3.5 CSS

Η CSS (Cascading Style Sheets) είναι ένα από τα πρότυπα που διατύπωσε η Κοινοπραξία Παγκόσμιου Ιστού (W3C) το 1996. Είναι μια γλώσσα περιγραφής της παρουσίασης των ιστοσελίδων, συμπεριλαμβανομένων των χρωμάτων, της διάταξης και των γραμματοσειρών. Επιτρέπει την προσαρμογή της παρουσίασης σε διάφορους τύπους συσκευών, όπως μεγάλες οθόνες, μικρές οθόνες ή εκτυπωτές. Η CSS είναι ανεξάρτητη από την HTML και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιαδήποτε γλώσσα σήμανσης με βάση την XML. Ο διαχωρισμός της HTML από την CSS διευκολύνει τη διατήρηση των ιστοτόπων, την ανταλλαγή φύλλων στυλ μεταξύ των σελίδων, την προσαρμογή των σελίδων σε διάφορα περιβάλλοντα. Αυτό αναφέρεται ως διαχωρισμός της δομής ή περιεχόμενο από την παρουσίαση. Τέλος συμβάλει

στη μείωση του κώδικα ιστοσελίδων, την βελτίωση της ταχύτητα περιήγησης μιας ιστοσελίδας [32]. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιείται η έκδοση CSS3.

9.3.6 Bootstrap

Το Bootstrap είναι μια open source βιβλιοθήκη HTML, CSS & JS που δημιουργήθηκε από το Twitter. Το Bootstrap είναι το πιο δημοφιλές HTML, CSS και JavaScript framework για την ανάπτυξη ενός εύχρηστου και φιλικού προς κινητές συσκευές (mobile, tablet) δικτυακού τόπου. Πρόκειται για ένα framework που χρησιμοποιείται για την ευκολότερη και ταχύτερη ανάπτυξη του ιστού. Περιλαμβάνει υποδείγματα σχεδιασμού HTML και CSS για τυπογραφία, έντυπα, κουμπιά, πίνακες, πλοήγηση, modals, εικόνες καρουσέλ και πολλά άλλα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιεί JavaScript και JavaScript plug-ins. Δίνει την δυνατότητα στους προγραμματιστές να δημιουργούν responsive σελίδες οι οποίες προσαρμόζονται ανάλογα την συσκευή, επιτραπέζιους υπολογιστές, τις ταμπλέτες και τις κινητές συσκευές όπου προβάλλονται. Τέλος υποστηρίζεται από όλους τους δημοφιλείς φυλλομετρητές ιστού (Web browsers) [33]. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιείται η έκδοση 5 του Bootstrap Framework.

9.3.7 PHP

Η γλώσσα προγραμματισμού του PHP θεωρείται μία από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού για την ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών διότι προσφέρει μεγάλη ευελιξία, είναι εύχρηστη και εύκολη να την μάθει ένας νέος προγραμματιστής. Η PHP είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που τρέχει στην πλευρά του διακομιστή (server-side) που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία δυναμικών και διαδραστικών ιστοσελίδων. Υπάρχουν πολλά PHP frameworks που βοηθούν τους προγραμματιστές να κατασκευάζουν ταχύτερα και ευκολότερα διαδικτυακές εφαρμογές παρέχοντας ένα βασικό μοντέλο πλαισίου, καθώς και ένα πλήρες σύνολο API, βιβλιοθηκών και επεκτάσεων, και βοηθούν τους προγραμματιστές να καταστούν παραγωγικότεροι, μειώνοντας τον επαναλαμβανόμενο κώδικα του έργου [34].

9.4 Παρουσίαση της Web Εφαρμογής

Η Web εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας στόχο έχει να προσομοιώσει ένα πραγματικό σύστημα του SWoT. Η εφαρμογή κάνει χρήση την οντολογία WEBIOT η οποία εξειδικεύεται στην περιγραφή ενός συστήματος φωτισμού το οποίο αποτελείται από διαφορετικά είδη λαμπτήρων. Στην εικόνα 9.1 παρουσιάζεται η Web εφαρμογή η οποία είναι μια Single Page σελίδα. Με την χρήση της PHP βιβλιοθήκης EasyRDF και του SPARQL endpoint προβάλλονται τα στιγμιότυπα της οντολογίας WEBIOT.

Webiot Extended Things Description Ontology

An extended version of The Thing Description (TD) ontology. An RDF axiomatization of the TD information model, one of the building blocks of the Web of Things (WoT).

Latest editor's draft: <https://www.w3.org/2019/wot/td/>

```
<code/>
```

Color Lamp


<http://sw.see.ihu.gr/iot/webiot#ColorLamp>

An abstraction of a physical or a virtual Lamp with set Color functionality

Physical thing URI: <https://141.237.237.50/>

Action set
Color

An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to set color



Action set Color on ColorLamp with physical uri <https://141.237.237.50/>

```
</code/>
```

On Off Lamp


<http://sw.see.ihu.gr/iot/webiot#OnOffLamp>

An abstraction of a physical or a virtual Lamp with On Off functionality

Physical thing URI: <https://141.237.237.47/>

Action Off An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Off

Action On An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to On



Action On on OnOffLamp with physical uri <https://141.237.237.47/>

```
</code/>
```

Dimable Lamp


<http://sw.see.ihu.gr/iot/webiot#DimableLamp>

"An abstraction of a physical or a virtual dimable Lamp"

Physical thing URI: <https://141.237.237.47/>

Action Decrease Intensity An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Decrease Intensity

Action Increase Intensity An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Increase Intensity



Action Decrease Intensity on DimableLamp with physical uri <https://141.237.237.47/>

```
</code/>
```


Toggle Lamp

<http://sw.see.ihu.gr/iot/webiot#ToggleLamp>

An abstraction of a physical or a virtual Lamp with Toggle functionality

Physical thing URI: <https://141.237.237.50/>

Action Toggle An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Toggle on or off



Action Toggle on ToggleLamp with physical uri <https://141.237.237.50/>

```
</code/>
```

Webiot Extended Things Description Ontology

An extended version of The Thing Description (TD) ontology. An RDF axiomatization of the TD information model, one of the building blocks of the Web of Things (WoT).

Εικόνα 9.1. Web Εφαρμογή.

Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα όταν μια νέα συσκευή IoT συνδεθεί στο δίκτυο μας και περιγραφεί σημασιολογικά με την οντολογία WEBIOT, να την εντοπίζει. Υποστηρίζει λειτουργία Plug & Play για την αυτόματη σύνδεση και αναγνώριση αντικειμένων που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες υλικού ή/και λογισμικού. Στην εικόνα 9.2 εμφανίζεται το ερώτημα SPARQL που εκτελείται για να εντοπιστούν οι συσκευές IoT του δικτύου.

Webiot Extended Things Description Ontology

An extended version of The Thing Description (TD) ontology. An RDF axiomatization of the TD information model, one of the building blocks of the Web of Things (WoT).

Latest editor's draft: <https://www.w3.org/2019/wot/td>

<code/>

```
PREFIX webiot:<http://sw.iese.ihu.gr/IoT/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>
SELECT DISTINCT ?Named_Individuals ?Label ?Comment ?imageURL ?physicalURL
FROM <http://sw.iese.ihu.gr/IoT/webiot/webiot.owl#>
WHERE {
  ?Named_Individuals rdf:type owl:NamedIndividual.
  ?Named_Individuals rdf:type webiot:Lamp.
  OPTIONAL
  {
    ?Named_Individuals rdfs:label ?Label .
    ?Named_Individuals rdfs:comment ?Comment .
    ?Named_Individuals webiot:imageURL ?imageURL .
    ?Named_Individuals webiot:physicalURL ?physicalURL .
  }
}
```

Εικόνα 9.2. Αναζήτηση για συσκευές IoT.

Στην συνέχεια φτιάχνονται δυναμικά τα κατάλληλα SPARQL ερωτήματα ώστε να μπορεί ο χρήστης να αλληλοεπιδρά με τις συσκευές IoT του δικτύου.

Συνεπώς στην εικόνα 9.3 μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις πληροφορίες για το στιγμιότυπο Color Lamp και τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης που αυτό έχει.

Το στιγμιότυπο Color Lamp αποτελεί περιγραφή ενός εικονικού πράγματος το οποίο έχει δυνατότητα κάνοντας κλήση σε ένα API να ανάβει ένα εικονικό λαμπτήρα με ένα συγκεκριμένο χρώμα.

Επιπλέον το στιγμιότυπο Color Lamp έχει και μια φυσική διεύθυνση που στην περίπτωση που πρέπει να διαχειριστεί ένα φυσικό αντικείμενο πραγματοποιεί κλήση της ενέργεια ActonSetColor στην συγκεκριμένη διεύθυνση και ενεργοποιείται ο φυσικός λαμπτήρας. Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήθηκε μια εφαρμογή προσομοίωσης, συνεπώς χρησιμοποιούνται μόνο εικονικοί λαμπτήρες. Σε πραγματικές συνθήκες στο παραπάνω σύστημα μπορούν να συνδεθούν πραγματικοί λαμπτήρες και αυτό με τη σειρά του καλεί τις φυσικές διευθύνσεις των λαμπτήρων στα πλαίσια των ενεργειών αλληλεπίδρασης.

Color Lamp


<http://sw.iew.iheu.gr/loT/webiot#ColorLamp>

An abstraction of a physical or a virtual Lamp with set Color functionality

Physical thing URL: <https://141.237.237.50/>

Action set
Color

An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to set color



Action set Color on ColorLamp with physical url
<https://141.237.237.50/>

```

<code/>
PREFIX webiot:<http://sw.iew.iheu.gr/loT/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>
SELECT ?ActionAffordance ?Comment ?Label
FROM <http://sw.iew.iheu.gr/loT/webiot/webiot.owl>
WHERE {
  webiot:ColorLamp td:hasActionAffordance ?ActionAffordance
  OPTIONAL
  {
    ?ActionAffordance rdfs:label ?Label .
    ?ActionAffordance rdfs:comment ?Comment .
  }
}

```

Εικόνα 4. Στιγμιότυπο Color Lamp.

Στην εικόνα 9.4 παρουσιάζεται το στιγμιότυπο On Off Lamp. Πρόκειται για έναν λαμπτήρα που έχει δυο ενέργειες (action) αλληλεπίδρασης, την Action On και Action Off, οι οποίες ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν αντίστοιχα τον λαμπτήρα.

On Off Lamp

<http://sw.iew.iheu.gr/loT/webiot#OnOffLamp>

An abstraction of a physical or a virtual Lamp with On Off functionality


Physical thing URL: <https://141.237.237.47/>

Action
Off

An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to Off

Action
On

An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp Thing to On



Action Off on OnOffLamp with physical url
<https://141.237.237.47/>

```

<code/>
PREFIX webiot:<http://sw.iew.iheu.gr/loT/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>
SELECT ?ActionAffordance ?Comment ?Label
FROM <http://sw.iew.iheu.gr/loT/webiot/webiot.owl>
WHERE {
  webiot:OnOffLamp td:hasActionAffordance ?ActionAffordance
  OPTIONAL
  {
    ?ActionAffordance rdfs:label ?Label .
    ?ActionAffordance rdfs:comment ?Comment .
  }
}

```

Εικόνα 9.4. Στιγμιότυπο On Off Lamp.

Στην εικόνα 9.5 παρουσιάζεται το στιγμιότυπο Dimable Lamp. Πρόκειται για έναν λαμπτήρα που έχει δυο ενέργειες (actions) αλληλεπίδρασης την Action Decrease Intensity και Action Increase Intensity οι οποίες μειώνουν ή αυξάνουν αντίστοιχα την φωτεινότητα του λαμπτήρα.

Dimable Lamp

http://sw.iese.ihu.gr/iot/webiot#DimableLamp

"An abstraction of a physical or a virtual dimable Lamp"


Physical thing URL: https://141.237.237.47/

**Action
Decrease
Intensity**

An Interaction
Affordance that allows
to invoke a function of
the Lamp Thing to
Decrease Intensity

**Action
Increase
Intensity**

An Interaction
Affordance that allows
to invoke a function of
the Lamp Thing to
Increase Intensity



Action Decrease Intensity on DimableLamp with
physical url https://141.237.237.47/

<code/>

```

PREFIX webiot:<http://sw.iese.ihu.gr/iot/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>
SELECT ?ActionAffordance ?Comment ?Label
FROM <http://sw.iese.ihu.gr/iot/webiot/webiot.owl>
WHERE {
  webiot:DimableLamp td:hasActionAffordance ?ActionAffordance
  OPTIONAL
  {
    ?ActionAffordance rdfs:label ?Label .
    ?ActionAffordance rdfs:comment ?Comment .
  }
}
```

Εικόνα 9.5. Στιγμιότυπο Dimable Lamp

Toggle Lamp


http://sw.iese.ihu.gr/iot/webiot#ToggleLamp

An abstraction of a physical or a virtual Lamp with Toggle functionality

Physical thing URL: https://141.237.237.50/

**Action
Toggle**

An Interaction Affordance that allows to invoke a function of the Lamp
Thing to Toggle on or off



<code/>

```

PREFIX webiot:<http://sw.iese.ihu.gr/iot/webiot#>
PREFIX td:<https://www.w3.org/2019/wot/td#>
SELECT ?ActionAffordance ?Comment ?Label
FROM <http://sw.iese.ihu.gr/iot/webiot/webiot.owl>
WHERE {
  webiot:ToggleLamp td:hasActionAffordance ?ActionAffordance
  OPTIONAL
  {
    ?ActionAffordance rdfs:label ?Label .
    ?ActionAffordance rdfs:comment ?Comment .
  }
}
```

Εικόνα 9.6. Στιγμιότυπο Toggle Lamp.

Τέλος στην εικόνα 9.6 παρουσιάζεται το στιγμιότυπο Toggle Lamp. Πρόκειται για έναν λαμπτήρα που έχει μια ενέργειες (actions) αλληλεπίδρασης την Action Toggle η οποία αλλάζει την κατάσταση του λαμπτήρα από On σε Off και το αντίστροφο.

10

Επίλογος

Στην συνέχεια ακολουθεί σύνοψη της διπλωματικής εργασία, παρουσίαση κάποιων συμπερασμάτων αλλά και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις της.

10.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια θεωρητική προσέγγιση και ανάλυση του SWoT. Πραγματοποιήθηκε μία επισκόπηση της πορείας του IoT προς το WoT και στην συνέχεια με την ενσωμάτωση του Σημασιολογικού Ιστού, στο SWoT. Στα πλαίσια της προσέγγιση του SWoT έγινε λεπτομερής ανάλυση της οντολογίας Thing Description, προσχέδιο -προς το παρόν- της κοινοπραξίας W3C με τελευταία ενημέρωση στις 10/08/2022, αλλά και του TD Information Model, το οποίο χρησιμοποιεί προκαθορισμένα λεξιλόγια και σημασιολογία. Η παρούσα διπλωματική εργασία προχώρησε στην ανάπτυξη μια νέας οντολογίας η οποία εξειδικεύεται στην περιγραφή ενός συστήματος φωτισμού το οποίο αποτελείται από διαφορετικά είδη λαμπτήρων. Έτσι στην παρούσα εργασία προτείνεται η οντολογία WEBIOT η οποία αποτελεί επέκταση της οντολογίας Thing Description. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση της νέας οντολογίας και παρουσιάστηκαν σενάρια χρήσης της. Τέλος έγινε ανάπτυξη μιας web εφαρμογής που υλοποιήθηκε με βασικότερο σκοπό την προσομοίωση χρήσης της οντολογίας WEBIOT και παρουσιάστηκαν λεπτομερώς όλες οι τεχνικές λεπτομέρειες και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της. Η προτεινόμενη εφαρμογή υποστηρίζει λειτουργία Plug & Play για την αυτόματη σύνδεση και αναγνώριση αντικειμένων που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες υλικού ή/και λογισμικού, για τη λήψη των δεδομένων ή την αλληλεπίδραση με αυτά. Συμπερασματικά η παρούσα εργασία επιτυγχάνει τους στόχους της και αποτελεί έναν οδηγό για την δημιουργία νέων εφαρμογών του SWoT με βάση την οντολογία Thing Description.

10.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η παρούσα διπλωματική εργασία προτείνει μια νέα οντολογία η οποία εξειδικεύεται στην περιγραφή ενός συστήματος φωτισμού το οποίο αποτελείται από διαφορετικά είδη λαμπτήρων.

Η προτεινομένη οντολογία (WEBIOT) βασίζεται στην οντολογία Thing Description και μπορεί να επεκταθεί έτσι ώστε να περιγράψει τις συσκευές και αισθητήρες ενός έξυπνου σπιτιού ή ενός συστήματος φωτισμού ή ακόμα και ενός συστήματος σηματοδότησης μιας πόλης. Σε αντίστοιχες περιπτώσεις χρειάζεται να επεκταθεί το εννοιολογικό μοντέλο της προτεινομένης οντολογίας και να δημιουργηθούν νέες κλάσεις, ιδιότητες αντικειμένων και δεδομένων έτσι ώστε να μπορούν να περιγραφούν σημασιολογικά οι νέες συσκευές IoT που θα είναι δυνατόν να συνδεθούν στο δίκτυο. Επιπλέον η οντολογία είναι δυνατόν να συνδεθεί με άλλες σχετικές οντολογίες όπως οι οντολογίες SSN και SOSA (βλ. 2.1). Μια επιπλέον επέκταση της παρούσας εργασίας είναι η αντιστοίχιση της προτεινόμενης οντολογίας με άλλες σχετικές οντολογίες με στόχο τη βελτίωση της διαλειτουργικότητας μεταξύ των συσκευών IoT.

Παράλληλα με την προτεινομένη οντολογία γίνεται η ανάπτυξη μιας διαδικτυακής (web) εφαρμογής η οποία προσομοιώνει ένα σύστημα φωτισμού του οποίου το δίκτυο αποτελείται από διαφορετικά είδη λαμπτήρων που έχουν διαφορετικούς τύπους αλληλεπίδρασης. Επέκταση αυτού του συστήματος μπορεί να είναι ένα νέο σύστημα το οποίο αποτελείται και από φυσικές συσκευές IoT. Έτσι, μπορεί να δοκιμαστεί η οντολογία της εφαρμογής, όχι μόνο σε περιβάλλον προσομοίωσης αλλά σε πραγματικές συνθήκες.

Τέλος, μια πολύ ενδιαφέρουσα προέκταση θα ήταν η ενσωμάτωση νοημοσύνης στο σύστημα είτε με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης είτε ακόμα και με κανόνες SWRL (Semantic Web Rule Language)[43]. Με αυτό το τρόπο το σύστημα δύναται να παίρνει μόνο τους αποφάσεις και να είναι ανεξάρτητο από τον χρήστη για τον χειρισμό των συσκευών IoT. Έτσι, σε μια προέκταση του συστήματος φωτισμού, το ίδιο το σύστημα αφού εντοπίζει τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυό του, αποφασίζει ποιες, τότε και για πόσο χρονικό διάστημα θα ενεργοποιήσει έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής φωτισμός. Μπορεί επιπλέον να έχει και την δυνατότητα να υπολογίσει και να επιλέξει μόνο του ποιος συνδυασμός λαμπτήρων είναι λιγότερο ενεργοβόρος για να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος, όταν ένας λαμπτήρας τεθεί εκτός λειτουργίας (πχ. υπερθέρμανση) το σύστημα μπορεί να έχει τη δυνατότητα να τον αντικαθιστά με άλλο αντίστοιχο.

11

Βιβλιογραφία

- [1] Debellis, Michael. (2021). A Practical Guide to Building OWL Ontologies Using Protégé 5.5 and Plugins.
- [2] Berners-Lee, Tim & Hendler, James & Lassila, Ora. (2001). The Semantic Web: A New Form of Web Content That is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities. ScientificAmerican.com.
- [3] P. Hitzler, “A review of the semantic web field,” *Commun. ACM*, vol. 64, no. 2, pp. 76–83, 2021.
- [4] G. Lan, T. Liu, X. Wang, X. Pan, and Z. Huang, “A semantic web technology index,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 3672, 2022.
- [5] A. Patel and S. Jain, “Present and future of semantic web technologies: a research statement,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 43, no. 5, pp. 413–422, 2021.
- [6] A. Rhayem, M. B. A. Mhiri, and F. Gargouri, “Semantic web technologies for the internet of things: Systematic literature review,” *Internet of Things*, vol. 11, no. 100206, p. 100206, 2020.
- [7] Y. Yang, L. Wu, G. Yin, L. Li, and H. Zhao, “A survey on security and privacy issues in internet-of-things”, *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1250–1258, 2017.
- [8] M. Lombardi, F. Pascale, and D. Santaniello, “Internet of Things: A general overview between architectures, protocols and applications,” *Information (Basel)*, vol. 12, no. 2, p. 87, 2021.
- [9] W. Li, G. Tropea, A. Abid, A. Detti, and F. Le Gall, “Review of standard ontologies for the web of things,” in *2019 Global IoT Summit (GioTS)*, 2019, pp. 1–6.

- [10] A. Chatzimichail et al., “Semantic Web and IoT,” in *Semantic IoT: Theory and Applications*, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 3–33.
- [11] F. Scioscia and M. Ruta, “Building a semantic web of things: Issues and perspectives in information compression,” in *2009 IEEE International Conference on Semantic Computing*, 2009, pp. 589–594.
- [12] V. Charpenay, S. Käbisch, and H. Kosch, “Introducing thing descriptions and interactions: An ontology for the Web of Things,” *Ceur-ws.org*. [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-1783/paper-06.pdf>. [Accessed: 20-Jul-2022].
- [13] A. Tzavaras, N. Mainas, F. Bouraimis, and E. G. M. Petrakis, “OpenAPI thing descriptions for the web of things,” in *2021 IEEE 33rd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, 2021, pp. 1384–1391.
- [14] S. Käbisch and D. Anicic, “Thing description as enabler of semantic interoperability on the web of Things,” *Iab.org*. [Online]. Available: <https://www.iab.org/wp-content/IAB-uploads/2016/03/Thing-Description-as-Enabler-of-Semantic-Interoperability-on-the-Web-of-Things.pdf>. [Accessed: 20-Jul-2022].
- [15] S. K. Datta and C. Bonnet, “Advances in web of things for IoT interoperability,” in *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, 2018, pp. 1–2.
- [16] F. Antoniazzi and F. Viola, “Building the semantic web of things through a dynamic ontology,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 6, pp. 10560–10579, 2019.
- [17] M. Žáček, R. Miarka, and O. Sýkora, “Visualization of semantic data,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 277–285.
- [18] D. K. Sharma, P. Jatwani, P. Tomar and V. Dhingra, “Semantic Web architecture to represent data of Semantic Web”, *Institute for Global Business Research Conference Proceedings*, vol. 2, no. 1, pp. 46–51, 2018.
- [19] M. Grobe, “RDF, Jena, SparQL and the ‘Semantic Web,’” in *Proceedings of the ACM SIGUCCS fall conference on User services conference - SIGUCCS '09*, 2009.
- [21] P. Hitzler and P. F. Patel-Schneider, “OWL 2 Web Ontology Language Primer,” *Www.w3.org*, 2009. [Online]. Available:

- <https://www.w3.org/TR/2009/PR-owl2-primer-20090922/all.pdf>.
[Accessed: 23-Aug-2022].
- [22] “Web of Things (WoT) Thing Description,” [Www.w3.org](http://www.w3.org). [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-thing-description/>. [Accessed: 26-Aug-2022].
- [23] A. Gyrard, “Designing cross-domain semantic Web of things applications.”, Ubiquitous Computing. Telecom ParisTech, 2015.
- [24] A. J. Jara, A. C. Olivieri, Y. Bocchi, M. Jung, W. Kastner, and A. F. Skarmeta, “Semantic Web of Things: an analysis of the application semantics for the IoT moving towards the IoT convergence,” *International Journal of Web and Grid Services*, vol. 10, no. 2/3. Inderscience Publishers, p. 244, 2014. doi: 10.1504/ijwgs.2014.060260.
- [25] M. A. Musen, “The protégé project,” *AI Matters*, vol. 1, no. 4. Association for Computing Machinery (ACM), pp. 4–12, Jun. 16, 2015. doi: 10.1145/2757001.2757003.
- [26] “EasyRdf,” [Www.w3.org](http://www.w3.org). [Online]. Available: <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/EasyRdf>. [Accessed: 29-Aug-2022].
- [27] N. Humfrey, “EasyRdf,” [Easyrdf.org](http://easyrdf.org). [Online]. Available: <https://www.easyrdf.org/>. [Accessed: 29-Aug-2022].
- [28] “EasyRdf is a PHP library designed to make it easy to consume and produce RDF,” [Bestofphp.com](http://bestofphp.com). [Online]. Available: <https://bestofphp.com/repo/easyrdf-is-a-php-library-designed-to-make-it-easy-to-consume-and-produce-rdf>. [Accessed: 29-Aug-2022].
- [29] Κ. Ραστσίνσκαγια, “Κατανεμημένη αρχιτεκτονική υπηρεσιών νέφους για το σημασιολογικό δίκτυο των πραγμάτων.” Technical University of Crete, 2021.
- [30] “OpenLink Virtuoso Universal Server Documentation,” [Openlinksw.com](http://openlinksw.com). [Online]. Available: <https://docs.openlinksw.com/virtuoso/>. [Accessed: 29-Aug-2022].
- [31] M. B. Hoy, “HTML5: A New Standard for the Web,” *Medical Reference Services Quarterly*, vol. 30, no. 1. Informa UK Limited, pp. 50–55, Jan. 24, 2011. doi: 10.1080/02763869.2011.540212.

- [32] "Html & css - w3c," Www.w3.org. [Online]. Available: <https://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>. [Accessed: 29-Aug-2022].
- [33] S. Shahu Gaikwad and P. Adkar, "A review paper on Bootstrap framework," Irejournals.com. [Online]. Available: <https://irejournals.com/formatedpaper/1701173.pdf>. [Accessed: 29-Aug-2022].
- [34] M. Laaziri, K. Benmoussa, S. Khouilji, and M. L. Kerkeb, "A Comparative study of PHP frameworks performance," *Procedia Manufacturing*, vol. 32. Elsevier BV, pp. 864–871, 2019. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.295.
- [35] "MAS / BaseOntology," GitLab. [Online]. Available: <https://git.onem2m.org/MAS/BaseOntology>. [Accessed: 30-Aug-2022].
- [36] W. Li, G. Tropea, A. Abid, A. Detti, and F. Le Gall, "Review of Standard Ontologies for the Web of Things," 2019 Global IoT Summit (GIoTS). IEEE, Jun. 2019. doi: 10.1109/giots.2019.8766377.
- [37] "Semantic Sensor Network ontology," Www.w3.org. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>. [Accessed: 31-Aug-2022].
- [38] A. Haller et al., "The modular SSN ontology: A joint W3C and OGC standard specifying the semantics of sensors, observations, sampling, and actuation," *Semantic Web*, vol. 10, no. 1. IOS Press, pp. 9–32, Dec. 28, 2018. doi: 10.3233/sw-180320.
- [39] SmartM2M; smart appliances reference ontology and oneM2M mapping (2015). URL http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103200/103299/103264/01.01.01_60/ts_103264v010101p.pdf. [Accessed: 31-Aug-2022].
- [40] "Ontologies - Smart Appliances Project," Google.com. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/smartappliancesproject/ontologies>. [Accessed: 31-Aug-2022].
- [41] M. Lefrançois, "Planned ETSI SAREF Extensions based on the W3C&OGC SOSA/SSN-compatible SEAS Ontology Paaerns," in *Workshop on Semantic Interoperability and Standardization in the IoT, SIS-IoT, 2017*.
- [42] "SAREF portal," Etsi.org. [Online]. Available: <https://saref.etsi.org/>. [Accessed: 31-Aug-2022].

- [43] M. Dean, "SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML," Wwww.w3.org. [Online]. Available: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>. [Accessed: 05-Sep-2022].
- [44] "Thing Description (TD) Ontology," Wwww.w3.org. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2019/wot/td/>. [Accessed: 26-Aug-2022].